

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE.

ANNALES

DU

BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE

DE FRANCE,

PUBLIÉES

PAR E. MASCART,

DIRECTEUR DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE.

ANNÉE 1896.

1.

MÉMOIRES.

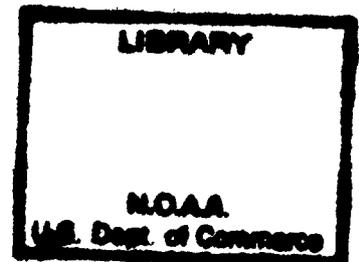
PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1898

QC
589
78
A. 76
année
1896
pt. 1



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

LIBRARY
WEATHER BUREAU
No. 20848

75
A81

3

9

ANNALES

DE

BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE

DE FRANCE.

MÉMOIRES.



INTRODUCTION.

Le Tome I de ces *Annales*, sous le titre *Mémoires*, renferme d'abord un travail de M. Fron sur la marche des orages en France pendant l'année 1896 et des Cartes journalières formant une statistique générale de tous les orages de l'année.

M. Moureaux a publié le détail des observations recueillies en 1896 sur le magnétisme terrestre au Parc Saint-Maur, avec une revue des caractères présentés par les perturbations. Douze Planches reproduisent à la fois les courbes fournies par les perturbations principales et les courbes correspondantes des variations des courants telluriques.

Comme complément aux observations de Saint-Maur vient le détail des observations magnétiques recueillies en 1896, à l'observatoire de Perpignan, par M. Cœurdevache, sous la direction de M. le D^r Fines.

M. Moureaux donne ensuite le résultat des comparaisons effectuées entre les instruments magnétiques du Parc Saint-Maur et ceux des observatoires de Kew, Pavlovsk, Pola, Rotterdam, Stockholm et Uccle.

Nous avons publié un travail important de M. Brillouin sur les vents contigus et les nuages, dans lequel l'Auteur étudie les phénomènes très complexes qui peuvent se produire dans la région où se mélangent deux couches atmosphériques inégalement nuageuses.

La Carte qui figure depuis 1878 dans le *Bulletin quotidien international* nous paraissait depuis longtemps défectueuse; le mode de projection adopté alors pour des raisons de simplicité entraînait de grandes déformations. M. Angot a calculé un canevas qui paraît répondre à tous les besoins des études météorologiques sur l'Europe; nous donnons les éléments de ce canevas qui peut être utilisé pour d'autres applications.

M. Angot a discuté ensuite le problème de la mesure des hauteurs par les observations barométriques et préparé des Tables nouvelles pour faciliter les calculs. C'est une question sur laquelle les observations internationales faites en ballon ont ramené l'attention des savants.

Enfin le Volume se termine par une étude de M. de Martonne sur le régime plu-

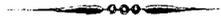
viométrique de la région de l'Est africain et des grands lacs. Les observations se sont beaucoup multipliées dans cette partie du globe, dont le climat était absolument inconnu il y a peu d'années encore; il a paru intéressant de les rassembler et de les publier.

Le Tome II, *Observations*, contient les résultats obtenus, en général, dans les mêmes stations que l'année précédente. Nous continuons à développer autant que possible les observations météorologiques dans nos colonies, surtout en Afrique. De nouveaux progrès ont été faits encore en 1896; le réseau des stations se développe peu à peu dans le Congo et le Soudan; nous pouvons publier cette année les premiers mois des résultats obtenus au centre même de l'Afrique, à Tombouctou.

Le Tome III, *Pluies en France*, est consacré exclusivement à l'étude détaillée du régime des pluies; on n'y a apporté aucune modification notable. Le nombre des stations qui figurent dans ce Volume est de 2030; c'est à peu près le même que celui de l'année précédente.

Le Directeur du Bureau central météorologique,

E. MASCART.



BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE DE FRANCE.

RAPPORT

LU, LE 22 AVRIL 1897,

A LA SÉANCE GÉNÉRALE DU CONSEIL DU BUREAU CENTRAL,

PAR M. BOUQUET DE LA GRYE,

Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes,
Président du Conseil du Bureau central météorologique.

MESSIEURS,

Conformément à l'article 13 du décret du 14 mai 1878, je dois vous rendre compte des travaux du Bureau central météorologique pendant l'exercice 1896.

Certes, leur ensemble est considérable et fait grand honneur à la direction et au personnel de cet établissement; mais l'année dernière se distingue des précédentes en ce sens qu'on y a abordé des études nouvelles, favorisé des recherches très intéressantes, et aussi parce qu'un Congrès international tenu à Paris, sous la présidence du Directeur du Bureau central, a pris des décisions et formulé des vœux dont l'adoption aura une heureuse influence sur les progrès de la Météorologie.

Nous parlerons tout d'abord des travaux ordinaires du Bureau.

On sait que l'un des principaux services rendus par lui consiste à annoncer un ou deux jours à l'avance l'arrivée des coups de vent sur nos côtes. Grâce aux signaux faits par les sémaphores, les voiliers et nos pêcheurs peuvent, la plupart du temps, gagner un abri avant d'être en péril.

Or, en 1896, sur 34 tempêtes qui ont abordé notre littoral, le service a pu en prévoir 31; la proportion est de 91 pour 100.

Sur 195 avis ayant fait hisser les cônes aux sémaphores, 125 coups de vent se sont trouvés conformes aux prédictions, 30 ont été en défaut.

Ces annonces ne regardent pas seulement les marins; elles intéressent aussi

les cultivateurs, et leur utilité est d'autant plus grande qu'il s'agit d'une région plus éloignée de l'Océan.

En effet, la marche d'un cyclone qui va toujours de l'Ouest à l'Est est en général assez lente; le centre met souvent plus de vingt-quatre heures pour passer du méridien de Valentia à celui de Cherbourg. Une prédiction faite pour ce premier port met plus de deux jours pour être réalisée en Champagne, d'où la possibilité pour un agriculteur de faire à temps des travaux de préservation.

Le Bureau, pour mieux assurer au midi de la France le bienfait de ces prédictions, a obtenu en 1896 le concours du personnel des observatoires du mont Mounier et de l'Aigoual. Le premier de ces établissements est dû à la générosité de M. Bischoffsheim, le second a été créé par le Service forestier.

Le nombre des dépêches quotidiennes arrivant au Bureau central s'élève aujourd'hui à 167; il en expédie 46.

Climatologie. — Les stations françaises dont les observations parviennent régulièrement au Bureau sont au nombre de 211, comprenant 15 observatoires, 86 écoles normales, 32 sémaphores, 21 phares et 57 postes.

Le Bureau a reçu en outre les Tableaux mensuels d'observations faites dans une cinquantaine de stations établies dans nos colonies ou à l'étranger; quatre nouveaux postes ont été créés au Soudan français.

Nos représentants dans les ports nous ont envoyé 329 journaux de bord.

On sait que le Bureau prête son concours pour le réglage des instruments météorologiques; en 1896, 42 baromètres à mercure ont été comparés à nos étalons; il en a été de même pour 6 anéroïdes, 374 thermomètres, et pour une vingtaine d'enregistreurs.

Les prêts d'instruments faits aux diverses stations météorologiques représentent une valeur de plus de 4000^{fr}.

A côté de cette somme, qui est représentée par un matériel scientifique, nous devons noter une dépense de 1362^{fr}, répartie entre diverses Commissions départementales à titre de subvention temporaire.

M. le Ministre de l'Instruction publique a bien voulu nous autoriser à décerner 89 médailles à nos correspondants des départements et des colonies; de son côté, l'Association française pour l'avancement des Sciences a offert 18 médailles de vermeil aux capitaines des navires dont les journaux sont tenus avec le plus de soin.

Publications. — Le Bureau a distribué à tous ses correspondants ses *Annales* pour 1894, formant trois Volumes in-4°, dont deux contenant des observations et le troisième des Mémoires.

Les *Annales* pour l'année 1895 sont tirées et vont être expédiées prochaine-

ment; le Directeur du Bureau y a joint les procès-verbaux de la Conférence internationale tenue au mois de septembre dernier; nous y reviendrons tout à l'heure.

La forme du *Bulletin mensuel* a été modifiée depuis le numéro de janvier 1896. Il est aujourd'hui composé de douze pages dont huit imprimées. Un tirage à cinq cents exemplaires a permis d'en faire le service aux Écoles normales, aux Commissions météorologiques, ainsi qu'à un grand nombre de nos observateurs des départements. Les nombreuses lettres de remerciement reçues témoignent du prix attaché à cet envoi. Une collection complète de nos publications a été envoyée à la bibliothèque universitaire de Lyon, à l'observatoire de Perth (Australie occidentale), à l'Université de Washington et à l'observatoire de Belen, à la Havane.

Bibliothèque. — La bibliothèque s'est enrichie d'un grand nombre d'Ouvrages, les observatoires étrangers lui envoyant toutes leurs publications. Une délégation du Conseil s'est assurée que chaque Ouvrage avait été inscrit sur le catalogue et reporté sur une fiche, de telle sorte qu'on a pu nous donner tout de suite la brochure que nous avions demandée.

Observatoires météorologiques. — Nous devons mentionner en premier lieu la création d'un observatoire spécial à Trappes. Elle est due à l'initiative d'un météorologiste du Bureau central, M. Teisserenc de Bort.

Cet observatoire, placé sur un plateau élevé, est destiné tout d'abord à l'étude de la forme et de la hauteur des nuages, suivant un programme proposé par le Comité international.

Des photographies y sont prises plusieurs fois par jour en visant, de deux stations reliées par un téléphone, la même région du Ciel. Ces deux stations sont distantes de 3^{km}, de 1318^m ou de 208^m, suivant la hauteur des nuages à observer.

Cette hauteur est déterminée par l'emploi d'un instrument spécial dont l'idée est due à notre savant Collègue et qui est déjà adopté à l'étranger.

Du mois de juillet 1896 au mois d'avril 1897, M. Teisserenc de Bort a pris 2500 photographies qui ont servi à fixer la hauteur de 750 parties de nuages.

On comprend la grande utilité de ces mesures : elles contrôleront et compléteront celles prises dans des ascensions de ballons montés, et des résultats très intéressants peuvent ressortir dès aujourd'hui de la comparaison des chiffres obtenus à Trappes avec ceux qui figurent sur les Cartes de M. Gaston Tissandier.

M. Teisserenc de Bort s'occupe aussi de l'emploi des cerfs-volants en Météorologie. Nous verrons plus loin l'heureux résultat que les Américains ont su tirer de ces curieux engins.

En résumé, nous ne pouvons que remercier notre Collègue de l'heureuse initiative qu'il a prise en fondant de ses propres deniers un observatoire spécial et en suppléant à l'insuffisance des ressources du Bureau central pour répondre à un desideratum du Congrès international.

Parc Saint-Maur. — On sait que depuis vingt années M. Renou est à la tête de l'observatoire du Parc Saint-Maur. Les phénomènes météorologiques y sont enregistrés aujourd'hui automatiquement, mais leur dépouillement demande un soin et une assiduité que nous trouvons à un degré égal chez M. Renou.

Le Service de M. Moureaux comprend le magnétisme terrestre, l'électricité et la photographie des taches solaires; les observations qui s'y rapportent ont été faites régulièrement pendant le dernier exercice.

M. Moureaux, entre temps, a été appelé en Russie par la Société impériale de Géographie, pour étudier des anomalies magnétiques singulières qui se présentaient dans le gouvernement de Koursk.

Pour déterminer leur distribution, M. Moureaux a fait 149 stations qui lui ont révélé des écarts énormes dans les données magnétiques; ainsi à Kotchetovka, sur une surface de 1^{kmq}, il a trouvé des valeurs de la déclinaison allant de + 96° à - 34°, des inclinaisons passant de 79° à 48° et des composantes horizontales passant de 0,166 à 0,589.

Ce sont des chiffres qui rappellent ceux qu'on observe près d'éruptions volcaniques ou dans le voisinage de couches puissantes d'oxyde de fer. On sait que l'on s'est servi d'observations magnétiques en Suède, pour la recherche de gisements de ces minerais.

Nous devons ajouter, en ce qui concerne le Parc Saint-Maur, que la direction des bâtiments civils a utilisé un crédit spécial pour la construction d'un pavillon aménagé de façon à doubler le service des enregistreurs et à rendre facile la détermination exacte des constantes du magnétisme.

Observatoires régionaux. — A Perpignan, le Dr Fines, dont on connaît le zèle et l'activité, a pu obtenir du département un crédit de 23000^{fr}, pour des constructions destinées à préserver son observatoire des inondations de la Têt.

Au Pic du Midi, on s'est borné à faire des travaux d'entretien et à multiplier les paratonnerres autour de la terrasse, souvent frappée par la foudre.

Pendant ce dernier hiver, on a pu constater que le téléphone fonctionnait entre l'observatoire et Bagnères, quoique le fil ait été rompu sur une longueur de 50^m par une avalanche. La neige durcie transmettait, nous assure-t-on, dans cet intervalle, les vibrations de la voix.

Des observations actinométriques ont été faites au Pic et à Bagnères, pendant le dernier exercice, à l'aide d'appareils dus à M. Violle.

On a constaté aussi que la déclinaison magnétique variait plus rapidement au sommet du Pic, à 2860^m, qu'à Bagnères, situé à 550^m d'altitude.

M. Marchand, qui espérait, grâce à la grande élévation de cet observatoire, avoir des données nouvelles sur la constitution de quelques planètes, a été peu favorisé par le temps en 1896. Il est loin, cependant, de se décourager, et il continue ses études sur la lumière zodiacale.

Les travaux de réfection, commencés en 1894 à l'observatoire du Puy-de-Dôme, sont presque achevés. Il y a lieu d'espérer que les bâtiments seront désormais préservés des effets désastreux dus à la persistance de l'humidité.

La ligne télégraphique qui unit l'observatoire à la station de Rabanasse a subi quelques interruptions par l'effet du givre, qui se dépose très abondamment à ces altitudes et fait rompre les fils.

Nous avons réclamé, depuis plusieurs années, la substitution d'un câble souterrain à la ligne aérienne, tout au moins sur une certaine longueur. Cela épargnerait les effets désastreux qui pourraient provenir de coups de foudre.

Nous avons aussi demandé la construction d'un petit pavillon pour y loger, à l'abri de toute influence perturbatrice, les enregistreurs magnétiques, placés aujourd'hui dans les sous-sols de la Faculté des Sciences.

Nous devons noter ici qu'au Congrès d'Hydrologie et de Climatologie, qui s'est tenu l'été dernier à Clermont-Ferrand, M. Hurion a présenté un rapport sur les moyens propres à mesurer la clarté et la coloration de l'atmosphère, en vue de rechercher leur influence sur l'hygiène.

M. Dyrion, Ingénieur en chef et président de la Commission météorologique de Vaucluse, a bien voulu continuer à donner ses soins à l'observatoire du mont Ventoux, où se font des observations régulières six fois par jour.

Dans un but d'économie, on avait employé, pour la construction de l'observatoire, des pierres qui se sont effritées sur une des façades du bâtiment. M. Dyrion les a fait remplacer par de la pierre de Crillon, qui n'est pas gélive.

Au mont Aigoual, placé sous la direction d'un inspecteur des forêts bien connu, M. Fabre, les observations sont faites par deux gardes forestiers. Pendant les mois de mai et de juin, elles sont envoyées à Valleraugue, centre d'éducation des vers à soie. Ces renseignements sont très appréciés de la population.

Commissions départementales. — Les Commissions départementales ont installé 2045 stations et nous ont envoyé 3348 bulletins d'orage; celle de Tarn-et-Garonne a été réorganisée et le réseau d'observations, établi tout d'abord dans l'arrondissement de Villeneuve par M. Vivier, a été étendu dans tout le département.

Nous devons noter ici l'insuffisance du nombre des stations dans les Alpes-Maritimes, la Dordogne, Saône-et-Loire, Seine-et-Marne et le Var.

Conférence météorologique internationale. — Au mois de septembre 1896, une Conférence météorologique a été tenue à Paris. A côté des représentants des pays d'Europe figuraient ceux des États-Unis, du Canada, du Mexique et de l'Australie.

Un grand nombre de questions du plus haut intérêt furent agitées dans les séances de cette Conférence, qui appela M. Mascart à l'honneur de la présider, et elle nomma cinq Commissions spéciales pour lui soumettre des rapports :

- 1° Sur les services télégraphiques internationaux ;
- 2° Sur le magnétisme et l'électricité atmosphérique ;
- 3° Sur les instruments et les méthodes d'observation ;
- 4° Sur les nuages ;
- 5° Sur l'Aéronautique en ce qui concerne la Météorologie.

Nous nous arrêterons sur les travaux de ces deux dernières Commissions, après avoir noté que le Rapport général sur la Conférence contient, en dehors des procès-verbaux des séances, des Notes très intéressantes.

Lors de la précédente réunion du Comité international à Upsal, en 1894, on avait adopté une classification uniforme des nuages et décidé la publication d'un Atlas spécial, sous la direction de MM. Hildebrandsson, Riggenbach et Teisserenc de Bort. Grâce à notre Collègue français, l'Atlas a été publié à Paris ; il est répandu maintenant dans le monde entier.

On avait en même temps résolu d'aborder d'une manière systématique l'étude des nuages pendant une année, et, depuis le 1^{er} juillet dernier, des mesures de la hauteur et du mouvement des nuages sont faites régulièrement chaque jour, soit par des observations directes, soit par la photographie, en 10 stations : 5 en Europe, 2 aux États-Unis, 2 aux Indes et 1 à Manille.

Nous avons déjà indiqué quelle était, grâce à M. Teisserenc de Bort, la part importante prise en France à ces observations.

Mais les nuages ne forment qu'un chapitre de l'étude des hautes régions de l'atmosphère ; pour compléter cette étude, indispensable aux progrès de la Météorologie, il faut absolument recourir aux observations en ballon.

C'est M. Gaston Tissandier qui paraît avoir proposé le premier d'organiser, pour l'exploration méthodique de l'atmosphère, des ascensions aéronautiques qui auraient lieu simultanément dans plusieurs pays. Mais cette idée resta longtemps à l'état de simple projet.

Atteindre, en ballon monté, une hauteur de 10000^m n'est certainement pas chose impossible ; des ascensions célèbres l'ont prouvé. La tentative est périlleuse, mais les aéronautes ne reculent pas devant le danger ; le seul obstacle était dans les dépenses énormes que devaient causer ces ascensions. Pour la manœuvre et les observations, ce n'est pas trop de deux personnes ; mais il faut alors des ballons de très grandes dimensions, dont la construction et le gonfle-

ment sont trop coûteux pour que l'expérience puisse être renouvelée fréquemment. Il n'y avait qu'une solution : supprimer les aéronautes et employer des ballons relativement petits, chargés seulement d'instruments enregistreurs aussi légers que possible. En 1892, M. le commandant Renard présentait à la Société française de Physique une étude très complète du problème et montrait qu'il était possible d'envoyer, à 18^{km} ou 20^{km}, des ballons perdus, porteurs d'instruments; c'est à Paris que l'expérience fut tentée tout d'abord, et l'honneur en revient à MM. Hermite et Besançon.

Je ne vous rappellerai pas les différentes ascensions faites en France par le ballon *Aérophile*. Les premières ne furent guère que des essais, destinés à montrer qu'il était possible d'atteindre des hauteurs de 14^{km} à 15^{km} et à étudier les dispositions que l'on devait donner aux enregistreurs pour obtenir des observations sérieuses. On paraît maintenant avoir à peu près triomphé des difficultés de toutes sortes que présentaient ces ascensions à grande hauteur; la période des tâtonnements semble terminée; celle des études sérieuses commence.

Sous l'impulsion de la Commission internationale instituée par la Conférence de Paris, les ascensions à grande hauteur sont faites d'une manière méthodique et simultanément dans différents pays. Toutes les précautions sont prises pour rendre les instruments comparables; deux ascensions simultanées ont déjà été faites le 14 novembre 1896 et le 18 février 1897.

Dans la nuit du 13 au 14 novembre 1896, eut lieu un départ de quatre ballons enregistreurs et de quatre ballons montés.

L'*Aérophile III* (Paris) atteignit une hauteur de 13800^m; il y rencontra une température de -63° ; le *Strasbourg* (Strasbourg) parvint à 7700^m; le *Cirrus* (Berlin) ne dépassa pas 5760^m; enfin le ballon enregistreur de Saint-Petersbourg éclata à 1500^m. Quant aux quatre ballons montés, l'*Académie* (Munich) parvint à 3350^m; le *Bussard* (Berlin) à 5535^m; le *Strela* (Varsovie) à 3490^m et le *Wannovsky* (Saint-Petersbourg) à 5000^m.

Les ascensions du 18 février 1897 ont fourni les renseignements suivants : l'*Aérophile III* (Paris) s'est élevé à 15000^m et a rencontré une température de -64° . A Strasbourg le ballon-sonde a trouvé une température de -57° à une altitude de 12000^m. Enfin, à Berlin, l'ascension commencée avec le *Cirrus*, qui a fait explosion, a été continuée avec un ballon militaire ordinaire qui a trouvé une température de -47° à une hauteur de 10000^m.

Deux ballons montés étaient partis en même temps de Berlin; l'un des deux s'est élevé à 4000^m, l'autre à 3700^m. Ils ont atterri tous les deux à 300^{km} au nord-est de leur point de départ. Le ballon monté parti de Strasbourg est descendu près de Karlsruhe après s'être élevé à une altitude de 3000^m. Il a trouvé jusqu'à cette hauteur des températures croissantes. Celui qui a été lancé

à Saint-Pétersbourg a rencontré des vents du Nord qui l'ont amené dans le gouvernement de Novogorod. L'intérêt de ces observations est considérable; celles faites à de grandes hauteurs semblent donner des températures très basses assez uniformes et des directions de vents constantes; au-dessous, dans la région des nuages, entre 3000^m et 5000^m, on commence à trouver les perturbations causées par l'orographie des pays et la nature du sol.

En haut, on est soumis à des lois générales, les premières à déterminer; au-dessous, à des influences locales beaucoup plus difficiles à trouver. Il y a donc lieu, en raison de la difficulté du problème, de multiplier les ascensions moyennes.

Celles de 3000^m à 5000^m doivent être faites avec des ballons, mais au-dessous du premier chiffre les Américains ont montré que l'on pouvait employer des cerfs-volants pour obtenir des données météorologiques. On sait que le cerf-volant est d'invention chinoise, mais ce peuple n'en a tiré qu'un amusement réservé à des vieillards; ils varient du reste la forme de l'appareil ainsi que sa grandeur, allant depuis le papillon jusqu'au grand dragon.

Newton, dans sa jeunesse, paraît s'être préoccupé de la meilleure forme à donner à des cerfs-volants; après lui, Wilson, à Edimbourg, proposa en 1749 de s'en servir pour l'étude des conditions atmosphériques. Plus tard, deux jeunes savants de l'Université de Glasgow, MM. Melwil et Watson, obtinrent la température de l'air dans la région des nuages de la façon suivante :

Après avoir fait une demi-douzaine de cerfs-volants en papier, ils les attachèrent en tandem en fixant à la queue du plus élevé, au moyen d'une ficelle liée à une mèche de mine allumée au départ, un thermomètre entouré d'un hérisson de papier.

A un moment donné, le thermomètre se détachait et l'on allait lire la hauteur atteinte par le mercure, qui représentait d'ailleurs mal la température au point où était arrivé le cerf-volant.

En 1847, M. Birt voulut déterminer à la fois la température, l'humidité et la vitesse du vent; son appareil était maintenu à peu près fixe par trois cordes.

L'amiral Bach usa aussi d'un cerf-volant à bord du *Terron* pour avoir la température de l'air au-dessus du détroit d'Hudson. Enfin, en 1883, M. Douglas-Archibald a étudié la différence de vitesse du vent à diverses hauteurs en se servant, au lieu de cordes, d'un fil d'acier, sur le conseil de Lord Kelvin.

Les dernières expériences sur l'emploi des cerfs-volants ont été faites aux États-Unis et elles ont été assez multipliées pour élucider toutes les questions relatives à l'emploi de ces appareils.

MM. Marvin et Rotch ont montré que l'on pouvait facilement envoyer des instruments enregistreurs jusqu'à 3000^m de hauteur, et même M. Rotch espère, à la suite de nouveaux perfectionnements, atteindre 4^{km} ou 5^{km}.

L'apparence de ces cerfs-volants météorologiques est bien faite pour surprendre : ce sont des sortes de boîtes rectangulaires sans fond ; on en attache cinq ou six en tandem à un fil d'acier que déroule un treuil, et ils peuvent porter un poids assez lourd.

Ils présentent sur les ballons captifs le double avantage de coûter peu et d'être utilisables précisément les jours où le temps est mauvais. Ils ne craignent ni la pluie, ni la neige, et ils ont fait leurs preuves par des vents ayant des vitesses supérieures à 15^m à la seconde. Ces appareils doivent être préconisés pour l'étude des régions supérieures de l'atmosphère dans les vents alizés.

Nous sommes donc maintenant en possession de plusieurs moyens propres à explorer l'atmosphère à toute hauteur.

Les ballons de M. Hermite permettent de dépasser des hauteurs de 15^{km}. Les mêmes appareils, très simplifiés, seraient encore employés de 4^{km} à 15^{km}. Audessous on utiliserait les ballons montés et les cerfs-volants.

Ces engins permettront de compléter par des renseignements précieux, dégagés de toute influence locale, les données que fournissent les observatoires de montagne, et l'on pourra poursuivre les études dans les endroits que fréquentent les dépressions barométriques. L'intérêt général est éveillé sur ces questions, et, quoique nous ne soyons qu'au début de ces recherches, les résultats obtenus nous permettent d'espérer que l'exploration méthodique de l'atmosphère nous donnera des documents de grande portée pour l'avancement de la Météorologie.

Messieurs, nous pouvons en terminant jeter un coup d'œil sur la marche qui a été suivie depuis un demi-siècle dans l'étude de la Météorologie.

Certes, avant 1854, on faisait d'excellentes séries d'observations de température et de pression sur divers points du globe, mais le premier progrès, véritablement scientifique, date de la création de Cartes synoptiques résultant d'observations simultanées.

L'illustre Le Verrier, à l'occasion d'un désastre, en montra toute l'importance, et de fait commença aussitôt la prédiction des coups de vent, pas énorme dans une voie inédite. C'est pour rendre ces prédictions plus certaines que l'on a érigé des observatoires là où se faisaient sentir en premier lieu les perturbations atmosphériques. Les sommets les plus hauts de notre pays ont vu s'élever des constructions massives ; des savants n'ont pas hésité à y passer des hivers dans la neige, et certains faits singuliers, tels que les renversements de température, ont alors pu recevoir des explications satisfaisantes.

Pour éviter des lectures d'instruments difficiles et une assiduité peu pratique à conserver pendant des années, d'habiles constructeurs ont alors imaginé des instruments enregistreurs qu'on a pu envoyer ou laisser dans des régions inaccessibles l'hiver.

Puis, comme l'attention se portait de plus en plus sur ce qui se passe dans les hautes régions de l'atmosphère, on a étudié la formation des nuages, puis on a sondé des hauteurs plus élevées, et grâce à M. Cailletet, secondant ingénieusement les dispositions prises par MM. Hermite et Besançon, on a pu vérifier la composition d'un air pris à des altitudes dépassant 15^{km}.

Messieurs, il semble qu'il est difficile de faire plus, de trouver une nouvelle voie, et le cycle des études météorologiques, dans lesquelles le Bureau central a pris une si large part, semble désormais fermé. Il n'en est pourtant rien.

Certes, les Volumes qu'il publie chaque année représentent un travail colossal, des vues d'ensemble ressortent des Mémoires qui y sont annexés, mais le Directeur sait bien qu'en observant les apparences des nuages, leur température, l'électricité qu'ils renferment, il y cherche, en somme, en même temps que le cultivateur, une prédiction pour le temps à venir.

Les services si précieux rendus à la Marine demandent à être étendus, la recherche de lois basées sur les observations faites s'impose, et c'est parce que les météorologistes sentent que le prix de leurs efforts sera une bénédiction venant de tous les points du globe que nous les voyons mettre une véritable passion à l'étude d'une science que ses progrès rendront de plus en plus bien-faisante.

**État, au 1^{er} janvier 1897, des Commissions météorologiques départementales
qui publient un Bulletin.**

BULLETINS MENSUELS.

Ain.	Jura.	Meurthe-et-Moselle.	Sarthe.
Calvados.	Maine-et-Loire.	Meuse.	Haute-Savoie.
Cher.	Manche.	Nord.	Vosges.
Gard.	Marne.	Pas-de-Calais.	
Indre-et-Loire.	Haute-Marne.	Haute-Saône.	

BULLETINS ANNUELS.

Allier.	Haute-Garonne.	Meuse.	Seine-Inférieure.
Hautes-Alpes.	Gironde.	Nièvre.	Deux-Sèvres.
Ardennes.	Hérault.	Nord.	Somme.
Aude.	Ille-et-Vilaine.	Pas-de-Calais.	Vaucluse.
Bouches-du-Rhône.	Indre-et-Loire.	Puy-de-Dôme.	Haute-Vienne.
Cantal.	Loiret.	Pyrénées-Orientales.	Vosges.
Charente-Inférieure.	Maine-et-Loire.	Rhône.	Yonne.
Côtes-du-Nord.	Haute-Marne.	Haute-Saône.	
Eure-et-Loir.	Meurthe-et-Moselle.	Saône-et-Loire.	

RÉSUMÉ DES ORAGES EN FRANCE

ET

DE L'ÉTAT DE L'ATMOSPHÈRE PENDANT L'ANNÉE 1896;

PAR M. FRON.

Introduction.

L'étude des orages en France est fondée principalement sur l'analyse des documents, cartes et bulletins fournis par les Commissions départementales. On a utilisé aussi les observations faites dans les écoles normales et les stations pluviométriques. A cet ensemble de données, il faut joindre la collection des documents fournis par l'administration des forêts, ce qui a permis de compléter les Cartes dans un grand nombre de régions.

Les planches A₁ à A₆ contiennent les principales journées orageuses. Les points marqués limitent les zones où l'orage a éclaté; les chutes de foudre et de grêle, avec ou sans dégâts, sont indiquées par des signes spéciaux. Enfin on a marqué, à l'aide de flèches et de penes variant de 0 à 7, la direction et la force du vent dominant à 7^h du matin ou à 6^h du soir sur chacune des quatre grandes régions maritimes de notre littoral : Manche, Bretagne, Océan et Méditerranée. Les planches A₇ et A₈ renferment la description détaillée de deux des orages les plus importants.

Dans la discussion générale par mois, nous avons réuni en groupes naturels les journées orageuses qui correspondent à des situations atmosphériques analogues.

Janvier 1896.

Ce mois est remarquable par l'extrême élévation du baromètre à Paris et la prédominance presque continue d'un régime anticyclonique sur la France. La température est très douce, quoique les vents d'Est ou de Nord-Est aient régné presque constamment. Ces vents prennent, à partir du 9, une violence extrême dans l'est de la France, sous l'influence d'un minimum transitoire formé sur la Méditerranée. Dans le département de l'Ain, ils soufflent en ouragan dans la

nuit du 9 au 10, et les forêts de Saint-Sulpice et de Gervais sont en partie détruites par une trombe.

Dans le nord de la France, le baromètre, qui, du 1^{er} au 11, était en moyenne trop haut de 12^{mm}, descend ensuite rapidement. Après avoir marqué, à Paris, 777^{mm} le 9, il a atteint, le 14, un minimum de 742^{mm}, étant descendu de 35^{mm} en 5 jours. Cette baisse a lieu sous l'influence d'une profonde dépression qui passe dans le nord de l'Angleterre, et surtout d'un minimum secondaire formé en Danemark. Ce minimum traverse la France du Nord au Sud, se trouve, le 14 au soir, vers Nancy, le 15 vers la Corse; sur son passage il amène des pluies, des neiges, des grains et des orages, qui sont signalés le 14 dans la Nièvre, le 15 dans le département de Seine-et-Oise. Les phénomènes orageux sont plus marqués en Hollande et surtout en Belgique, où 8 localités les signalent et où des feux Saint-Elme sont même aperçus à Sey (près de Cixey) au moment d'un très violent coup de vent de l'Ouest, virant rapidement au Nord-Nord-Est et accompagné d'éclairs et de grêle.

Les orages ont donc été très rares en France pendant ce mois, ils ont été signalés seulement pendant 4 jours sur 5 départements.

Février 1896.

Ce mois est remarquable par l'élévation continue de la pression et par une extrême sécheresse. La température a été très variable, elle est froide généralement, mais chaude du 9 au 13 et du 19 au 22.

Pendant la première période du 1^{er} au 16, le vent d'Est domine avec temps sec, froid et pression très élevée. Toutefois un réchauffement momentané a lieu vers le 12. Ces circonstances sont peu favorables, aussi les orages ne sont signalés que le 14 sur 2 départements : l'Isère et les Basses-Pyrénées.

Une seconde période a lieu du 17 au 21; le vent tourne au Sud, le temps devient pluvieux et très chaud. On signale des températures de 15°, 8 à Paris, 15°, 9 à Toulouse, 18°, 6 à Clermont. Des orages sont constatés le 17 et le 20, mais ils atteignent chaque jour un seul département.

Enfin, la troisième période a lieu du 22 au 29; elle est signalée par une reprise des vents d'Est et un refroidissement intense. Des neiges abondantes tombent dans l'est, le centre et le sud de la France. Des orages sont signalés seulement dans l'Isère le 23 et le 25.

En résumé, il y a eu 6 jours d'orage et 6 départements atteints.

Mars 1896.

Le régime anticyclonique, qui a dominé sur la France pendant les deux premiers mois, cesse à partir du 1^{er} mars. Ce mois est remarquable par l'élévation

de la température, due à la prédominance des vents d'entre Sud et Ouest, et, par suite, par le retour des orages.

Première période, du 1^{er} au 10 mars. — Une zone de faibles pressions couvre presque constamment les Iles Britanniques et la Scandinavie. De nombreuses et profondes bourrasques circulent dans le voisinage des Shetland, des Féroë et se dirigent vers la Baltique. La plus importante a son centre, le 3, vers les Hébrides (720^{mm}) : elle amène une baisse barométrique considérable et de très mauvais temps d'entre Sud et Ouest sur les Iles Britanniques, le bassin de la mer du Nord et la Scandinavie. En France, la baisse se produit à partir du 2 ; de gros temps d'entre Sud et Ouest sévissent dès le 3 sur le littoral de la Manche, de la Bretagne, puis de la Gascogne ; ils se propagent ensuite à la Méditerranée, où ils occasionnent des sinistres le 9. Sous l'influence de ce régime, les manifestations orageuses reprennent, le 2 sur le département de l'Isère, le 3 sur 7 départements disséminés dans les régions du Nord et de l'Ouest ; ce jour des éclairs ont été vus le soir à Saint-Maur. Le lendemain, 4, est une des journées qui présente le plus d'orages. On les signale, en effet, sur 22 départements situés principalement dans le Sud, dans l'Est, ainsi que sur le littoral de la Manche, de Dunkerque à Granville, et sur la frontière belge jusqu'aux Ardennes. Le centre de la France est atteint à son tour le 5, jour où 14 départements sont frappés. Pendant ces deux journées, les chutes de grêle sont nombreuses, mais aucun dommage n'est signalé. A partir du 6, une accalmie se produit jusqu'à la fin de la période ; les phénomènes orageux disparaissent même complètement le 7. Pour les 6, 8 et 9, le nombre des départements atteints n'est que de 1 ; il s'élève à 2, le 10.

Deuxième période, du 11 au 25 mars. — L'aire des fortes pressions, qui se tenait depuis le 5 sur la péninsule ibérique, rétrograde au large, tandis que la vaste zone de faibles pressions du Nord-Ouest persiste. Un grand nombre de dépressions s'y forment et contournent les côtes anglaises : elles apparaissent les 11, 15, 16, 20 et 23 ; cette dernière se propage jusqu'à la mer Blanche. La bourrasque du 16 occasionne, le 18, la formation de centres secondaires en Gascogne et vers le Pas-de-Calais, et les manifestations orageuses, qui avaient presque disparu (1 département seulement atteint le 12 et le 13), reprennent avec une certaine vigueur. Elles réapparaissent, le 17, sur les Landes, pour s'étendre, le 18, à 15 départements orientés de l'estuaire de la Gironde à l'extrême frontière nord-est. Les jours suivants elles diminuent d'importance (5 départements atteints le 19, 3 les 20 et 21), puis une vague de chaleur a lieu et amène des températures estivales du 22 au 26 mars ; on note les 23 et 24 des maxima oscillant entre 20° et 23° pour toutes les régions. Une recrudescence orageuse a lieu à mesure que la température s'élève. Le nombre des départements frappés, qui est de 5 le 22, passe à 12 le 23, à 8 le 24 et le

25 s'élève à 18. Les manifestations, qui s'étaient d'abord étendues au Sud-Est puis à l'Est, sévissent, le 25, sur une large bande orientée du Nord au Sud et comprise entre les méridiens de Pau et de Montpellier. L'Artois, la Picardie, une partie de la Normandie et de l'Île-de-France, le Bourbonnais et le département de la Haute-Garonne sont surtout atteints. Des animaux domestiques sont tués dans l'Allier; les pluies ravinent tous les terrains en pente dans la Haute-Garonne.

Troisième période, du 26 au 31 mars. — A partir du 26, un vaste courant de retour se dirige du Nord-Ouest au Sud-Est, à travers l'Europe. Des centres importants de dépression passent le 26 et le 28 près des Shetland; ils se propagent vers le Sud-Sud-Est jusqu'à la Méditerranée; du 29 au 30, ils couvrent entièrement l'Italie et amènent des chutes de neige jusqu'en Sicile. Un centre secondaire s'en détache et s'avance, le 27, près du Pas-de-Calais.

Les vents d'entre Ouest et Nord s'établissent sur nos contrées, ils inclinent graduellement vers Nord et Nord-Est; la température s'abaisse et les pluies gagnent toutes les régions, sauf la Provence. Les manifestations orageuses diminuent d'abord d'importance; elles ne sévissent plus que sur 7 départements de la moitié orientale le 26 et sur 5 le 27. Puis, fait remarquable, elles prennent une recrudescence anormale le 28 et frappent 22 départements répartis sur les régions Nord-Ouest, Ouest, Sud-Est et Sud au moment où la neige fait son apparition sur le Nord-Est, l'Est et le Centre. Les phénomènes électriques sont surtout intenses sur la partie orientale de la Bretagne, sur la Normandie, la Touraine et le Dauphiné. Les chutes de grêle sont nombreuses sur les deux premières de ces provinces; dans le Calvados on note quelques coups de foudre qui endommagent des arbres. Avec la journée du 4 celle du 28 est la plus orageuse du mois. — A partir de ce moment, les orages perdent graduellement et rapidement de leur importance; toutefois, le 29 ils sévissent encore sur 11 départements principalement de la région Sud. Mais le 30 3 départements seulement sont frappés; il en est de même le 31, jour où les orages sévissent sur les Basses-Alpes et les Alpes-Maritimes et sont accompagnés de chutes de neige.

En résumé, les orages nombreux pendant la seconde quinzaine ont été observés en mars durant 25 journées, pendant lesquelles 172 départements ont été atteints.

Avril 1896.

Ce mois, remarquable par l'élévation de la pression barométrique et la persistance des vents d'entre Nord-Ouest et Nord-Est, est froid et peu orageux. Il ne comporte en réalité qu'une seule période. Son étude détaillée ne peut donc embrasser que des phases différenciées par la température ou la pluviosité,

le vent soufflant presque constamment du Nord et ne tournant momentanément vers l'Ouest que pendant quatre à cinq jours.

Période unique : première phase, du 1^{er} au 5. — Du 31 mars au 5 avril, l'aire des fortes pressions séjourne sur les Iles Britanniques et s'étend vers la France et la Baltique. Le régime Nord et le froid dominant sur nos régions; les minima absolus de température, compris entre 0° et - 2°, se produisent le 1^{er} ou le 3; en même temps les averses sont générales et les neiges continuent dans l'Est et le Centre; on en signale même à Toulouse. Dans ces conditions, des manifestations orageuses sont cependant signalées : le 3 dans le Cantal et le Var; le 4 dans la Côte-d'Or, l'Ardèche, le Var et les Hautes-Pyrénées; enfin le 5 seulement dans les Hautes-Pyrénées.

Deuxième phase, du 6 au 10. — L'aire des fortes pressions reste en présence de nos côtes, mais se déplace vers le golfe de Gascogne. Au nord du continent, les courants d'Ouest se rapprochent graduellement; leur voisinage amène une hausse considérable de température. En France, bien que le vent du Nord persiste, la hausse est très marquée. Le temps est sec généralement, aussi les manifestations orageuses sont presque nulles; elles ne se produisent que les 8, 9 et 10 et atteignent, pour ces dates respectives, 2, 3 et 1 département. Le Cantal signale encore des orages pendant ces trois jours.

Troisième phase, du 11 au 18. — L'aire des fortes pressions envahit de nouveau la péninsule ibérique tout en couvrant la Gascogne et la Bretagne. Les bourrasques passent toujours dans le nord du continent. L'une apparaît le 11 entre l'Écosse et la Norvège; elle se creuse et s'étend vers l'Allemagne, puis l'Italie.

En France, sous l'influence de cette bourrasque, le vent tourne momentanément vers l'Ouest en prenant de la force; il est violent du Nord-Ouest, le 13, sur les côtes de la Manche et de la Méditerranée. Un refroidissement notable se produit; des averses tombent sur tout le territoire; on signale même de la neige dans l'Est. Dans ces conditions, les manifestations orageuses sont peu importantes. Absentes le 11, elles ne revêtent quelque intensité relative que les 12 et 13, elles sévissent respectivement sur 12 et 11 départements de la région Est. A partir de ce jour, elles deviennent insignifiantes et ne sont plus observées que sur 1 département le 14, 5 le 15, 1 le 16, 2 le 17 et 5 le 18.

Quatrième phase, du 19 au 25. — Les fortes pressions persistent jusqu'au 20 sur toute l'Europe puis rétrogradent dans l'Ouest, tandis que le baromètre s'abaisse dans l'extrême Nord et l'extrême Sud. Une dépression se forme le 20 sur le golfe de Gênes et des mauvais temps règnent, le 22, au large des côtes de Provence. Sur la France, soumise à l'action des fortes pressions, le vent est généralement faible et souffle de l'Est puis du Nord. La température est toujours basse et la sécheresse domine; toutefois, le 22, des neiges tombent dans les

Vosges et la région des Alpes. Sous l'influence de ce régime, les phénomènes orageux sont peu développés bien que journaliers. Ils sévissent sur 3 départements les 19 et 20, 8 le 21, 7 le 22, 3 le 23 et seulement 2 les 24 et 25. On note quelques chutes de foudre, notamment le 20, dans le Doubs, sur une ferme et, le 21, dans l'Hérault, sur une usine.

Cinquième phase, du 26 au 30. — Le 26, les fortes pressions s'étendent en une longue bande à travers toute l'Europe, du golfe de Gascogne à la Turquie d'Asie. Les courants d'Ouest s'établissent et les bourrasques se rapprochent. En France, un réchauffement subit et de très courte durée se produit le 27 ou le 28 suivant les régions. Les pluies commencent le 27, mais sont peu abondantes. En même temps, les manifestations orageuses, qui étaient restées stationnaires (3 départements frappés les 26 et 27), prennent de l'extension. Le 28, 12 départements, situés dans la moitié méridionale du bassin du Rhône, sont atteints; le 29, leur nombre s'élève à 33. C'est la journée la plus importante du mois. Les mêmes régions que la veille sont éprouvées; il faut y joindre la région pyrénéenne. Les chutes de grêle sont nombreuses pour ces deux dates; le 29, elles ont causé, dans les Hautes-Pyrénées, des dégâts aux arbres fruitiers pendant que des chutes de foudre sur des habitations étaient observées dans la Haute-Loire. Le 30, les phénomènes orageux ont perdu de leur violence; ils sévissent encore toutefois sur 18 départements, et les chutes de grêle sont particulièrement nombreuses sur le département de Vaucluse où elles n'ont heureusement pas causé de grands dégâts.

En résumé, ce mois d'avril n'offre, au point de vue orageux, qu'une seule journée remarquable et, bien que les phénomènes électriques aient été relevés pendant 25 jours, 146 départements seulement ont été atteints.

Mai 1896.

Le mois de mai offre, à peu de chose près, les mêmes caractères généraux que le mois d'avril. Pour certaines régions, il y a même accentuation au point de vue de la sécheresse.

La persistance, en Europe, de l'aire des fortes pressions sur les Iles Britanniques, tandis qu'un minimum relatif couvre le bassin de la Méditerranée, détermine sur nos régions un régime presque ininterrompu de vents du Nord avec température un peu fraîche. La sécheresse est fort accentuée, notamment dans le bassin de Paris; au contraire, pour les régions du Sud-Ouest, du Sud et du Centre, les orages sont assez fréquents et accompagnés de fortes pluies.

Première phase, du 1^{er} au 5. — Le 1^{er} mai, une dépression secondaire apparaît sur le golfe de Gênes et prend les jours suivants une grande importance. Elle s'étend vers l'Adriatique, puis gagne l'Europe centrale et la Russie. En France,

le temps est généralement beau, mais assez froid. Les manifestations orageuses sont nombreuses. Le 1^{er} mai, elles sévissent sur 27 départements de la moitié occidentale du territoire, principalement sur la région pyrénéenne, et sont accompagnées de nombreuses chutes de grêle qui causent peu de dégâts; elles deviennent ensuite insignifiantes à mesure que le minimum s'avance dans l'Europe centrale; le nombre des départements atteints s'abaisse à 5 le 2 et 3 les 3 et 4.

Deuxième phase, du 5 au 24. — A partir du 5, une recrudescence se manifeste jusqu'au 10 et les orages deviennent assez intenses d'abord dans le Sud-Est, puis sur les régions du Sud, du Sud-Ouest et du Centre à l'exclusion presque totale de toute la moitié septentrionale du territoire. De 7 départements atteints le 5, le nombre s'élève à 17 le 6, à 21 le 7, 28 le 8, puis passe par un maximum les 9 et 10, jours où 31 et 32 départements sont frappés. Ces orages sont amenés par une zone de faibles pressions apparue le 9 à l'ouest de la péninsule ibérique, qui traverse l'Espagne du 10 au 11, puis se propage vers le sud-est à travers la Méditerranée occidentale jusqu'à l'orient de Malte. Dans l'intervalle, une dépression s'est formée le 10 au soir au nord de Toulouse et se trouve le 11 vers Biarritz. La hausse de température qui s'était manifestée sous l'influence de la dépression méditerranéenne cesse à partir du 13, puis les orages diminuent progressivement et très rapidement à partir du 15. Le nombre des départements atteints, qui était de 16 le 11, passe à 22 le 12, retombe à 18 le 13 et 12 le 14 pour remonter momentanément à 27 le 15 et enfin descendre à 15 le 16 et seulement 5 le 17 et 6 les 18 et 19.

Les chutes de grêle et de foudre ont été assez nombreuses pendant tout ce laps de temps.

Les grêles ont fait leur apparition le 5 dans la Lozère, où elles causent des dégâts assez importants. Le 8, elles abiment les récoltes dans la zone pyrénéenne et le Languedoc. Les jours suivants, elles sévissent sur les mêmes régions en causant des dégâts très importants, même désastreux en certains endroits, et gagnent le Plateau central. Le 9, elles s'avancent sur le Dauphiné et, le 10, se trouvent aux environs de Lyon où l'on note également des dommages; c'est à cette dernière date qu'elles atteignent leur maximum d'intensité pour diminuer ensuite rapidement en importance. Toutefois, le 17, dans les Basses-Alpes, elles causent encore des dégâts aux vignobles de la commune d'Annot.

Quant aux chutes de foudre, elles sont aussi très notables. Elles sont signalées : le 8 dans les Hautes-Pyrénées; le 9 dans la Charente, où des fils télégraphiques et des arbres sont mutilés; le 10, elles semblent localisées sur la Haute-Garonne; le 11, elles réapparaissent dans la Charente, le 12 dans la Haute-Garonne. Le 15, elles débutent sur le Poitou et la Champagne et prennent un caractère alarmant. A Luçon (Vendée) deux maisons sont endommagées; mais, dans les Deux-Sèvres, elles tuent un homme à Fontenay et un attelage

de quatre bœufs à Cerizay. Enfin, dans l'Aube, à la Chapelle-Vallon, aux environs de Troyes, une maison et une grange sont incendiées.

Les chutes de pluies, très abondantes dans la région des Pyrénées, ont, les 10 et 11, en maints endroits, raviné les terrains, notamment dans les départements des Hautes-Pyrénées et de la Haute-Garonne.

Les fortes pressions des Iles Britanniques persistent en s'étendant au loin sur l'Atlantique, à partir du 18, et la température s'abaisse considérablement du 20 au 25; aussi les manifestations orageuses sont rares. A part une recrudescence passagère qui se manifeste le 20, jour où 17 départements sont atteints, le nombre de ces derniers s'abaisse à 7 le 21 et le 24, à 9 le 23 et seulement à 4 le 22.

Troisième phase, du 25 au 31. — A partir du 25, les orages s'étendent graduellement du Sud-Est aux régions du Sud, du Sud-Ouest, de l'Ouest, du Centre et de l'Est. Dans les autres régions, on ne relève que des pluies disséminées et la sécheresse est à peine atténuée; néanmoins, cette dernière huitaine offre le maximum d'intensité orageuse.

Dès le 25, les orages sévissent sur 18 départements du Sud-Est et de la région Pyrénéenne. Ils sont surtout violents dans cette dernière où les chutes de grêle sont très nombreuses et causent des dégâts en maintes localités des départements des Hautes-Pyrénées et de la Haute-Garonne; on note aussi des chutes de foudre sans gravité. Le lendemain, 26, les orages s'étendent aux régions du Centre, embrassent 28 départements, mais sont assez anodins; de même le 27 où, bien que 32 départements soient atteints, aucun dommage n'est signalé, les chutes de grêle et de foudre faisant presque complètement défaut.

Enfin, le 28, les orages s'étendent à 52 départements. Cette journée est remarquable à plus d'un titre. Non seulement elle est la plus orageuse du mois, mais encore les manifestations se présentent en groupes compacts et tous orientés du Nord-Est au Sud-Ouest, fait assez rare, car, presque toujours, dans nos contrées, les orages suivent une marche analogue à celle des grands mouvements du large, soit de Sud-Ouest à Nord-Est. Dans la matinée de ce jour, les manifestations sont disséminées sur beaucoup de régions; elles ne prennent un caractère homogène que dans l'après-midi. Un premier groupe se montre vers 1^h de l'après-midi le long de la crête des Vosges, se dirige d'abord vers l'Ouest, puis le Sud-Ouest et le Sud, embrassant la Lorraine et la Champagne méridionales, la Franche-Comté, la Bourgogne, le Nivernais, le Bourbonnais, le Lyonnais, et se termine vers 4^h30^m aux confins de l'Auvergne. Un deuxième groupe, qui affecte la même marche seulement sur une partie de ces régions, sévit entre 2^h et 4^h; enfin, un troisième fait sentir ses effets entre 5^h et 6^h sur les départements des Vosges, de Meurthe-et-Moselle et de la Haute-Marne. Pendant toute la durée de ces orages, les chutes de grêle et de foudre ont été fréquentes.

Les premières ont causé peu de dégâts, sauf dans l'Aube. Il n'en est pas de même des chutes de foudre qui ont sévi avec intensité. A Blanzey, aux environs de Nancy, elles tuent deux brebis et blessent le berger. Dans le Doubs, une maison est incendiée au village de Guyant-Durnes, à 8^{km} d'Ornans; à Saint-Hippolyte, le télégraphe est atteint ainsi que plusieurs sapins à Vercel-Nods. Enfin, dans l'Yonne, des arbres sont mutilés. Il convient, pour terminer l'examen de cette importante journée, de noter d'autres orages qui ont sévi sur les régions de l'Ouest, entre 4^h et 6^h, et sur celle du Centre, entre 6^h et 8^h du soir. Leur marche est orientée comme celle des groupes précédents et ils ont donné lieu à quelques chutes de grêle et de foudre sans gravité.

A partir du 28, les orages diminuent en étendue, mais non en intensité. Si le nombre des départements atteints n'est plus que de 38 le 29, de 32 le 30 et de 27 le 31, les chutes de grêle et de foudre sont aussi importantes. Les premières causent des dégâts, le 30, dans Vaucluse et, le 31, dans l'Ardèche. Les secondes sévissent avec une intensité extrême; le 29, dans le Gers, l'Hérault et la Haute-Saône; le 30, dans l'Ardèche et, principalement encore, dans l'Hérault. Enfin, il convient de noter les pluies torrentielles qui ont accompagné toutes ces manifestations pendant les derniers jours et qui ont causé beaucoup de dégâts, par suite du ravinement des terres labourées, principalement le 29 dans les Hautes-Pyrénées et la Haute-Garonne.

En résumé, ce mois a été faiblement orageux, les manifestations se sont produites, il est vrai, tous les jours; mais, en somme, 572 départements seulement ont été atteints.

Juin 1896.

Le mois de juin est en complète opposition avec les deux mois précédents. Il est doux, pluvieux et orageux, surtout la première quinzaine pendant laquelle dominant les courants du Sud. La seconde quinzaine, où dominant les courants d'entre Nord et Ouest, est froide et les manifestations orageuses sont assez rares, sauf les 24 et 25.

Première période, du 1^{er} au 17. — Un changement complet dans la situation s'effectue sur l'Europe les 1^{er} et 2 juin. Une zone de basses pressions s'établit sur l'Irlande et s'étend au large, remplaçant l'aire des fortes pressions qui couvrait ces parages depuis deux mois. Une dépression passe le 1^{er} dans les régions polaires, mais la situation sur l'Europe est régie pendant presque toute la période par un autre mouvement tourbillonnaire qui apparaît le 1^{er} au soir sur l'Irlande. Cette dépression se creuse, rétrograde au large, puis s'avance lentement en remontant la Manche; elle couvre les Pays-Bas, l'Europe centrale et gagne, le 13, la Russie. Des centres secondaires se forment sur la mer du Nord et, le 10, sur le centre de la France. Après le passage de cette dépression, la

zone persiste au large de nos côtes Ouest, et un mouvement orageux, qui rétrograde presque aussitôt, s'avance le 13 sur le golfe de Gascogne.

En France, avec l'apparition de la zone du large, les courants du Sud s'établissent et la température s'élève rapidement. En même temps, la sécheresse prend fin le 2 juin. Les pluies deviennent générales, elles sont torrentielles du 7 au 10; de nombreuses manifestations électriques les accompagnent.

Dès le 1^{er}, les orages sévissent sur 36 départements des régions du Centre et de l'Est principalement, ils sont très violents et même désastreux sur le massif du Plateau central, où ils sont accompagnés de nombreuses chutes de foudre. Le département du Puy-de Dôme est le plus éprouvé : à Cohay, commune de Mazayes, canton de Rochefort, un homme est tué; dans d'autres localités, des maisons et des arbres sont frappés. Dans le Cantal, au village de la Mulatière, canton de Saint-Cernin, le fluide tombe sur une grange et tue une vache.

Le 2 juin, les manifestations prennent tout à coup une très grande extension par suite de l'approche de la dépression d'Irlande et s'étendent à toutes les régions, sauf la Bretagne. Elles embrassent 59 départements, mais sont assez anodines; on ne signale quelques dommages, causés par la grêle, que dans les Vosges et la Haute-Savoie. Les jours suivants l'énergie des phénomènes se maintient, les orages sévissent sur presque toutes les régions et affectent 53 départements le 3 et le 4, 56 le 5, pour atteindre leur maximum de développement le 6. Dans cette journée, la plus orageuse du mois, 62 départements sont frappés. Le lendemain 7, les orages reprennent encore sur 47 départements et en couvrent 50 le 8, puis ils diminuent rapidement; le nombre des subdivisions frappées n'est plus que de 39 le 9 et seulement de 19 le 10 juin et 12 le 11, pour s'abaisser ensuite à 7 le 12 et 8 le 13.

Les chutes de grêle et de foudre ont été nombreuses pendant toutes ces journées. — Les premières, assez anodines, n'ont causé de dégâts que le 5 dans les Hautes-Pyrénées, le 6 dans la Haute-Marne, l'Yonne et la Côte-d'Or, le 8 dans l'Allier et l'Indre-et-Loire; toutefois, dans ce dernier département, les pertes évaluées seulement à Luzillé, canton de Bléré, s'élèvent à 25 000^{fr}. — Quant aux chutes de foudre, elles ont été plus fréquentes et ont causé des dégâts beaucoup plus sérieux. Nous allons énumérer les principales. Le 3, dans le Nord, un arbre est foudroyé à Bouvignies. Le 4, dans la Haute-Garonne, à Casties-Labrande, canton du Fousseret, une vache est tuée dans une étable. Le 5, un arbre est brisé dans les Hautes-Pyrénées à Arrodets. Le 6, dans l'Aube, à Barberey, près de Troyes, un arbre est mutilé et à Montreuil, canton de Lusigny, trois vaches sont tuées dans un parc. Dans l'Yonne, à Courgis, une maison est atteinte. Le 7, le département de l'Allier est très éprouvé, ainsi que le 8. Ce même jour, des arbres sont brisés dans les Landes et dans la Haute-Garonne. A Murviel-les-Béziers, dans l'Hérault, une habitation est endommagée

et, dans la Haute-Saône, à Montbozon, au passage d'un éclair, la lumière électrique s'est éteinte et rallumée presque aussitôt. Le 9, un jeune homme est tué aux environs de Saint-Chinian, dans l'Hérault. Le 11, les chutes sont observées en forêt dans l'Aube; enfin, le 12, à Noirmoutiers (Vendée), une douzaine de poulets sont tués dans une basse-cour. — Indépendamment de la grêle et de la foudre, les chutes de pluie ont aussi occasionné des dégâts, notamment les 4 et 5 dans la Haute-Garonne, le 8 dans le Tarn et le 9 dans les Basses-Alpes, où une trombe de pluie et de grêle, fournissant 41^{mm} d'eau en deux heures, dévaste la commune de Mélan, près de Digne.

Après l'accalmie du 11 au 13, les manifestations orageuses reprennent avec une nouvelle intensité à l'approche de la dépression du golfe de Gascogne. En même temps la température s'élève considérablement et les maxima absolus du mois sont observés vers le 14 : ils sont voisins de 30°. Les orages commencent d'abord par le Sud-Ouest puis, le 14, s'étendent à toute la moitié occidentale du territoire et aux régions du Nord-Est et de l'Est; au total, 47 départements sont frappés. Les phénomènes orageux sont surtout violents sur la région de l'Ouest où les chutes de grêle et de foudre ont été désastreuses. Les premières ont saccagé les récoltes dans l'arrondissement de Ruffec (Charente) et dans celui de Civray (Vienne). Quant aux chutes de foudre elles se sont produites avec une intensité extraordinaire dans les départements de la Charente, des Deux-Sèvres, de la Vienne et de l'Indre-et-Loire. Dans la Charente, à Linières, canton de Rouillac, une cheminée est démolie; à Saint-Amand-de-Nouère, trois peupliers sont mutilés. Dans les Deux-Sèvres, le canton de Celles paraît le plus éprouvé : deux peupliers sont brisés à Fressines, un noyer l'est également à Saint-Médard, d'autres arbres sont atteints dans les cantons de La Mothe et de Brioux, à Celles une maison est frappée. Les dégâts les plus considérables paraissent avoir été observés dans le département de la Vienne : à Saint-Romain, canton de Gençay, une grange remplie de foin est incendiée; à Ogeron, près de Saint-Julien-l'Ars, une autre l'est également, et à Montamisé, canton de Saint-Georges, le fluide tombe sur une cheminée, sur le clocher et sur deux arbres. Enfin, dans l'Indre-et-Loire, à Ceaux, canton de Richelieu, deux bœufs sont tués. Il convient aussi de noter une chute désastreuse à Pluvigner, dans le Morbihan, et une autre dans la Marne, à Pierre-Morains, canton de Vertus.

Le 15, les orages sont disséminés, mais sévissent sur 41 départements. Les chutes de grêle ont cessé, mais celles de foudre sont encore observées, bien atténuées, il est vrai; les dégâts les plus sérieux sont causés par la pluie, qui abîme les récoltes ou ravine les terres dans le département de la Haute-Garonne. Les manifestations diminuent ensuite rapidement d'étendue, elles n'embrassent plus que 32 départements le 16, et seulement 19 le 17 et sévissent presque exclusivement sur la moitié orientale du territoire. Le 16 elles ont encore conservé de

leur énergie première par suite de la formation d'un mouvement secondaire sur le centre de la France, le 15 au soir. Des chutes de grêle et de foudre sont constatées; ces dernières sont assez violentes sur le département de Vaucluse, notamment à Pertuis, où deux hommes ont été renversés et blessés. A Paris, pendant cette période, les orages ont été fréquents et généralement forts; ils ont été observés les 2, 3, 4, 6, 7 et 14 : celui du 7 fournit 19^{mm} d'eau.

Deuxième période, du 18 au 30. — La pression reste basse dans le nord-ouest et l'est de l'Europe, tandis que l'aire des fortes pressions, qui se tient depuis le 15 dans les parages des Açores et de Madère, envahit la péninsule ibérique et s'avance le 19 jusque sur l'Europe centrale. Les bourrasques passent dans les hautes latitudes, l'une s'approche de l'Écosse le 17, une seconde se transporte le 20 des Féroë sur la Scandinavie, où elle séjourne jusqu'au 25. Sous son influence, la pression s'abaisse sur l'Europe centrale et un centre secondaire s'y forme le 25; il se transporte, d'un côté vers le golfe de Gènes, de l'autre vers la Russie. En même temps des mouvements tourbillonnaires existent le 24 et le 25 sur l'Espagne.

En France, sous l'influence de ces divers mouvements, le vent, d'abord faible et variable, se fixe d'entre Ouest et Nord, un abaissement général et graduel de la température a lieu; aussi les chutes de pluie, comme les manifestations orageuses, diminuent rapidement: les premières cessent presque complètement, à partir du 19. Les secondes, très disséminées et anodines, frappent seulement 6 départements le 18, 12 le 19, 8 le 20 et 6 les 21 et 22.

Le 23 une recrudescence se manifeste et 15 départements sont atteints. Les orages sont surtout violents sur la région pyrénéenne, des bestiaux sont tués par la foudre et un vent violent arrache ou brise les arbres. Puis tout à coup, au moment où les mouvements secondaires apparaissent sur l'Espagne, les phénomènes orageux se développent avec une grande rapidité et acquièrent une intensité exceptionnelle.

Les 24 et 25 toutes les régions, sauf la Bretagne, sont frappées; soit un total de 61 départements pour le 24 juin et de 60 pour le 25 juin. Ces journées sont les plus remarquables du mois après le 6; l'intensité des chutes de foudre a même été supérieure. En effet, ces dernières ont sévi presque sans discontinuer et ont été, en certaines localités, désastreuses.

Le 24, dans la Charente, à Barbezieux, une maison est abimée. Dans le Cantal, à Vic-sur-Cère, un arbre est ébranché. A Laqueuille, canton de Rochefort (Puy-de-Dôme), deux arbres sont brisés. Dans l'Ardèche, à 5^{km} de la maison forestière de Mayres, canton de Thueyts, un troupeau transhumant de 115 bêtes est entièrement foudroyé; enfin, à Saint-Martin-du-Fresne, arrondissement de Nantua, le fluide tombe sur une maison et renverse une cheminée.

Le 25, les chutes de foudre ont été encore plus nombreuses. Dans la matinée

on les observe : 1° dans l'Aube, notamment à Quincey, canton de Romilly, où le château du Paraclat est ravagé; à Connautray, près d'Arcis-sur-Aube, sur une grange; à Lhuitre, canton de Ramerupt, où une maison et un arbre sont atteints; 2° à Cluny (Saône-et-Loire), trois pins sont mutilés à 4^m de la maison forestière; 3° dans le Calvados, le clocher de Moyaux (canton de Lisieux) est avarié; 4° dans l'Allier, un bâtiment est atteint à Ébreuil. Dans l'après-midi, le fluide tombe sur le clocher de Dore-l'Église (Puy-de-Dôme) et incendie une maison et des écuries à Laisnes-aux-Bois, dans l'Aube.

Les chutes de grêle ont été bien plus rares, mais ont cependant causé des dégâts importants, notamment le 24 aux environs de Toulouse et dans l'Indre-et-Loire, à Lignièrès. A Paris, des orages intenses se produisent pendant ces deux journées; ils sont accompagnés d'une pluie torrentielle. Du 24 à 10^h du soir au 25 à 6^h du soir, mais en réalité en cinq heures quinze minutes de chute seulement, il est tombé 26^{mm},4 d'eau.

Après cette remarquable extension, les phénomènes orageux subissent une diminution accentuée, le 26 ils ne sévissent plus que sur 26 départements, presque tous répartis le long de la chaîne des Pyrénées et dans le Sud et le Sud-Est; le 27, sur 6 départements seulement. Le 28, une légère recrudescence se manifeste : 18 départements, presque tous situés dans le quadrant nord-est, sont frappés; mais les 29 et 30 les manifestations disparaissent, le nombre des départements frappés est seulement de 2 et 1. Le 26, la pluie a raviné les terres labourées et couché les blés dans les départements des Hautes-Pyrénées et de la Haute-Garonne; la foudre est tombée sur le paratonnerre de l'église de Rabastens (Hautes-Pyrénées); des chutes de grêle sont observées dans les Basses-Alpes.

En résumé, pendant ce mois, les manifestations orageuses ont été journalières et elles se sont étendues à 858 départements.

Juillet 1896.

Le mois de juillet, bien que présentant pour la pression barométrique et la température une moyenne en excès sur la normale, est relativement peu orageux, par suite de la prédominance des vents du Nord-Ouest.

Première période, du 1^{er} au 14. — Au commencement du mois les fortes pressions occupent l'ouest du continent tandis que les faibles pressions, dont le centre se trouve le 1^{er} sur le Danemark, s'éloignent vers la Sibérie. Un minimum secondaire peu important se forme le même jour dans le nord de l'Italie. Le 2, l'aire des fortes pressions se trouve refoulée vers le Sud par une dépression qui apparaît entre l'Islande et les Féroë et se déplace vers l'Est les jours suivants. Le 6, le centre de cette dépression se trouve en Russie où il reste

stationnaire jusqu'au 13. Deux mouvements secondaires se forment le 7 sur l'Angleterre et la Bretagne et, le 8, un nouveau minimum aborde l'Irlande. Pendant que ce dernier s'éloigne vers le Nord-Nord-Est, les pressions supérieures à 765^{mm} envahissent de nouveau l'ouest de l'Europe et l'occupent jusqu'au 14.

En France, pendant cette période, le vent souffle du Nord-Ouest du 1^{er} au 5, il est ensuite variable avec le Sud dominant jusqu'au 10, puis souffle d'entre Nord et Est. La température est un peu basse au commencement du mois sous l'influence des courants froids et pluvieux du Nord-Ouest; aussi les manifestations orageuses sont insignifiantes pendant les premiers jours; elles sont seulement observées sur 5 départements le 1^{er}, 7 le 2, et 3 les 3, 4 et 5.

A partir de cette dernière date la température se relève, reste supérieure à la normale jusqu'à la fin de la période, et les maxima absolus se produisent généralement le 7 et le 9, sauf pour les régions du Midi où ils sont observés le 14: ils oscillent entre 30° et 38°. En même temps les phénomènes orageux prennent une très grande extension et passent le 7 par un maximum d'intensité. De 10 départements frappés le 6, le nombre s'élève à 68 le 7, qui est la journée la plus orageuse du mois. Les chutes de grêle et de foudre font leur apparition et sévissent, comme du reste les jours suivants, avec violence, causant de grands dégâts, surtout sur les régions du Centre et de l'Ouest. A partir du 8 juillet, les manifestations diminuent: elles sont notées encore sur 45 départements le 8, 30 le 9, 45 le 10, 32 le 11 puis deviennent anodines et ne s'étendent plus qu'à 23 départements le 12, pour n'en frapper que 7 le 13 et seulement 4 le 14.

La journée du 7 juillet a été étudiée à part (*voir* la Carte A₇). Pour les autres on peut remarquer, d'une façon générale, que la foudre a causé des dégâts bien plus importants que la grêle.

Pendant la matinée du 8 les manifestations, dont le détail se trouve sur la Carte générale du 7, continuent. Dans l'Aube, la foudre tombe dans les cantons de Bouilly et de Chaource. Dans l'Yonne, à Saint-Martin-sur-Ouanne, elle tue deux vaches, brise neuf poteaux télégraphiques au hameau de Jouancy et trois autres à Yrouerre. L'Allier est aussi éprouvé que la veille: à Tilly, deux bœufs sont asphyxiés dans un champ; à Saint-Gerbaud, une meule de 20000^{kg} est brûlée; à Servilly une vache est tuée. Dans le Puy-de-Dôme, des arbres sont mutilés; enfin, dans le Calvados, un cheval est tué à Hermival et un bœuf à Victot. Le 9, la foudre fait encore plus de dégâts, surtout dans l'Allier et le Puy-de-Dôme. Dans l'Allier, elle tombe sur le clocher de Saint-Yorre et à Vichy-Cusset asphyxie presque complètement un enfant. Au village des Bregettes, commune de la Chapelaude, elle brûle un immeuble avec tout son contenu (perte 9000^{fr}). Dans le Puy-de-Dôme, la foudre tombe à Sauviat, à

Ceilleux, etc., mais des arbres seulement sont frappés; il n'en est pas de même à Échassières (canton de Ménéat), à Joze (canton de Maringues) et à Saint-Maurice (canton de Pionsat) : à Échassières, un facteur est tué, trois maisons sont incendiées; à Joze, la gare, une maison, du bétail et sept peupliers sont atteints, enfin, à Saint-Maurice, une maison a son toit brûlé. Dans l'Yonne, la foudre incendie une maison à Ormeau, aux environs de Villeneuve-sur-Yonne.

Le 10, les chutes de foudre, quoique moins fréquentes, revêtent un caractère aussi grave. Dans la matinée, une femme est tuée aux environs de Varennes (Meuse) et des arbres sont incendiés dans l'Isère; dans l'après-midi du bétail est tué dans le Puy-de-Dôme.

Les 11 et 12 les chutes continuent et causent encore des dégâts, notamment dans la Charente, le Cantal et le Puy-de-Dôme. Enfin, le 12, dans le canton de Cunlhat (Puy-de-Dôme), un homme est gravement blessé et un bâtiment est incendié.

Quant aux chutes de grêle, pour avoir été moins fréquentes elles n'en ont pas moins causé des dégâts très sérieux. — Le 8, elles détruisent la récolte en chanvre et betteraves de la commune de Sainte-Christine (Puy-de-Dôme) en même temps que la pluie ravine les terres. Dans l'Allier, les récoltes de la commune de Saint-Priest-en-Murat sont abimées pour une valeur de 6000^{fr}; enfin, dans l'Yonne, les cantons de Pont-sur-Yonne et de Sergines sont éprouvés pour les blés et les vignes; en une localité les pertes sont évaluées à 15000^{fr}. — Le 9, des dommages sont signalés à Tarascon d'Ariège et à Huriel dans l'Allier; en outre, dans ce dernier département, un cyclone suivi d'une trombe s'est abattu sur la ville de Montluçon et ses environs. Dans la ville même, la pluie est tombée d'une façon diluvienne. On cite comme particulièrement éprouvés les quartiers des Forges, de Bretonné et les rues basses d'outre Cher. De grands dégâts sont signalés pour la même cause à Thury (Côte-d'Or). — Le 10, les derniers dommages causés par la grêle, durant cette période, sont observés. Ce jour dans l'Ardeche, notamment à Mayres, la presque totalité des récoltes est détruite. Les dégâts ont été aussi très grands dans le Puy-de-Dôme : les récoltes de Gelles sont abimées et les deux tiers des seigles de la commune de Bourg-Lastic sont perdus.

Deuxième période, du 15 au 31. — Du 15 au 24 les fortes pressions occupent l'ouest de l'Europe; leur distribution générale n'est que légèrement modifiée le 15 par des dépressions orageuses, qui se combent dans le centre du continent, et, le 20, par une dépression plus importante dont la trajectoire reste dans l'extrême Nord. Le 23, la situation change complètement, par suite de l'arrivée d'une dépression qui aborde le sud-ouest de l'Irlande. Ce minimum marche vers le nord les jours suivants; il se trouve le 26 en Écosse, le 28 au sud de la Nor-

vège et disparaît le lendemain. Le 29, une nouvelle dépression, qui paraît suivre la précédente, aborde la côte ouest de l'Irlande; elle se déplace vers l'Est et se comble le 31 dans le Centre.

En France, le vent souffle d'entre Nord-Ouest et Nord-Est jusqu'au 24. Ce jour, sous l'influence de la dépression d'Irlande, le vent tourne au Sud, puis à mesure que cette dépression s'éloigne vers les régions du Nord il tourne à l'Ouest, puis au Nord-Ouest. La température, généralement au-dessous de la normale, subit deux hausses successives : la première, très forte, du 20 au 23; la seconde, le 25. Les pluies sont d'abord rares et disséminées, puis, à partir du 26, elles deviennent abondantes et sont presque générales.

De très violents orages accompagnent les pluies. Ils présentent trois phases remarquables liées avec les périodes de températures élevées. La première phase, du 15 au 17, se produit à la suite de la période des maxima absolus des régions du Midi; les deux autres, du 20 au 22 et, à partir du 26, coïncident avec les deux hausses thermiques signalées plus haut.

Dès le 15, les manifestations prennent un énorme développement. Le matin elles font leur apparition dans les régions du Nord et dans l'extrême Sud et, l'après-midi, sévissent avec violence sur toute la moitié orientale du territoire avec accompagnement de nombreuses chutes de grêle ou de foudre; 63 départements sont frappés. Les phénomènes orageux diminuent ensuite rapidement d'importance tout en conservant une grande intensité : 44 départements sont atteints le 16, 27 le 17, 9 le 18 et seulement 7 le 19.

Le 15, les dégâts ou accidents causés par les chutes de grêle et de foudre ont été considérables. — Les premières ont sévi dans la Haute-Garonne : les récoltes des communes de Villariès, Montjoie, Villeneuve-les-Boulac ont été ravagées; en outre, la pluie a raviné les terres à Roumens et Trébons et un cyclone s'est abattu sur le village d'Azas, canton de Montastruc, arrachant des arbres séculaires; les récoltes ont été aussi gravement endommagées, et les terres ravinées par une pluie diluvienne. Les dégâts ont été énormes dans la Nièvre, le Loiret, l'Eure et le Puy-de-Dôme, où à Chaptuzat, près d'Aigueperse, on les évalue à 90 000^{fr.} — Les chutes de foudre ne le cèdent en rien à celles de grêle. Dans la matinée, elles mutilent trois arbres dans l'Oise. L'après-midi on les observe sur plusieurs départements : dans l'Aube, une maison est dégradée à Chaource, un cheval attelé est tué aux Riceys et un homme est foudroyé à Fontettes. Dans l'Yonne, un autre cheval est tué à Arthonnay. Dans Seine-et-Oise, à Epône, des animaux sont tués, un jeune homme blessé; à Jeufosse, une maison est atteinte, une femme et un cheval sont blessés. A Oudan (Nièvre), la cheminée d'une habitation est brisée. Dans l'Allier, un bœuf est tué à Marigny, deux autres le sont à Buxières-les-Mines. Dans la Loire, à Saint-Porgeux, canton de la Pacau-

dière, une grange est foudroyée et plusieurs bestiaux sont tués. Dans l'Hérault, des fourrages sont incendiés; enfin, dans la Haute-Garonne, au village de Trébons, cité déjà plus haut, la foudre tombe en deux endroits.

Pendant la journée du 16, les dégâts ont aussi été énormes, surtout ceux occasionnés par la grêle. Les départements de la Haute-Saône, de l'Allier et de la Vienne paraissent avoir été particulièrement éprouvés. — Dans la Haute-Saône, les vignes, mais surtout les plantations de tabac, ont été très abimées : pour les communes de Mantoche, Essertenne, Autrey et Broye-les-Loups, les pertes s'élèvent à une trentaine de mille francs. La foudre amène aussi des désastres. A Grandecourt, elle tombe à 500^m du village dans un champ, renverse trois personnes dont l'une est tuée. — Dans l'Allier, la grêle cause de très grands ravages dans la région de Gannat et Commentry. Les grêlons, qui étaient en moyenne comme de petites noix et dont certains atteignaient la grosseur d'un œuf de poule, ont saccagé une grande partie des récoltes en céréales, pommes de terre, légumes, etc. Tout est haché, les arbres n'ont plus de feuilles. En certains points du territoire des communes de Biozat, Poëzat, Channes, Saint-Genest-du-Retz, Montpensier, Vensat et Aigueperse, on remarquait après l'orage une couche de grêle de 15^{cm} d'épaisseur. Dans la seule région voisine de Commentry, les dégâts sont évalués ainsi qu'il suit : pour les communes de Chamblet, 28000^{fr}; Nérès, 17000^{fr}; Hyds, 61000^{fr}; Colombier, 42000^{fr}, etc. La foudre est tombée souvent et a causé des dégâts sensibles. A Commentry, on signale deux chutes sur des habitations : une maison est endommagée pour une valeur de 900^{fr}; à Chantelle, une cheminée est abimée, de même au hameau de Gizat, commune de Bellenaves. — Dans la Vienne, l'orage a aussi causé de grands dégâts, notamment dans le canton de Morêts. Les communes de Claunay, Maulay, Le Bouchet et Dercé ont été particulièrement éprouvées : les pertes se chiffrent par plusieurs centaines de mille francs. — Pour la même journée du 16, des dégâts assez importants sont causés dans le canton de Tarascon d'Ariège par la grêle et la foudre et, par la pluie, à Thury, dans la Côte-d'Or. — Enfin, des chutes de foudre sont encore notées : le 17, dans Meurthe-et-Moselle, le clocher de Lamath, canton de Gerbéviller, est atteint et une tombe du cimetière renversée; le 19, dans la Haute-Loire, aux Estables, canton de Fay-le-Froid, une génisse et deux moutons sont tués.

La température qui avait, le 18, passé, pour toutes les régions, par un minimum relatif, reprend une marche ascendante et les 20 et 21 se produit une période de chaleur presque aussi intense que celles des 9 et 14. Les lectures surpassent 30° pour presque toutes les régions.

Les manifestations orageuses suivent un développement analogue et sévissent avec une grande intensité. Dès le 20, elles reprennent sur la région pyrénéenne, la Gascogne, le Languedoc, Vaucluse, et embrassent 29 départements; elles sont

accompagnées de chutes de grêle et de foudre signalées, surtout dans les Hautes-Pyrénées (Lourdes, Tarbes, Pouyastruc), dans la Haute-Garonne (Grenade, le Fousseret) et dans l'Hérault (La Salvetat).

Pendant la nuit du 20 au 21 les orages continuent avec violence et s'étendent le 21 à presque toutes les régions; la pointe de Bretagne et le bassin de Paris paraissent seuls épargnés. Dans cette journée, 65 départements sont frappés. Les dégâts causés par la foudre et la grêle ont été nombreux et très étendus. Dès le matin, ou plutôt dans la nuit même, les chutes de foudre ont produit des incendies ou causé de notables dégâts. On les signale vers 2^h du matin dans Vaucluse et le Cantal, un peu plus tard, dans l'Hérault et la Loire.

Le 21, dans l'après-midi, les chutes de foudre sont plus rares et ne causent de dégâts que dans l'Yonne et l'Aube. — Les chutes de grêle font alors leur apparition et revêtent un caractère désastreux. Elles sévissent d'abord sur le département de l'Allier, où les vignes sont fortement éprouvées, notamment à Gannat, Ebreuil et Escurolles, puis s'étendent aux régions orientales dans les départements de Meurthe-et-Moselle et de la Haute-Saône. Dans Meurthe-et-Moselle, l'arrondissement de Lunéville est exclusivement frappé. Les communes les plus éprouvées sont celles de Bieuville avec 7500^{fr} de dégâts, de Crion avec 17 500^{fr}, de Deuxville avec 17 000^{fr}, de Sionviller avec 20 000^{fr} et de Bonviller avec 27 000^{fr}. Dans la Haute-Saône, une grêle épouvantable a absolument saccagé les récoltes des communes de Vernois-sur-Mance et Rosières-sur-Mance (canton de Vitrey). On évalue à 29 000^{fr} les pertes en vignes et céréales. Les vignes et les plantations de tabac de Cendrecourt et de Magny-les-Jussey subissent le même sort. A Champagny, les grêlons atteignaient la dimension d'œufs de pigeon. A Cult, les vignes ont éprouvé pour 10 500^{fr} de dommages. La foudre tue un homme à Magny, incendie une maison au hameau du Ban, près de Champagny. Enfin une véritable trombe d'eau s'est abattue sur Jussey et les environs; il en avait été de même dans la matinée à Frontignan (Hérault).

Après la journée du 21, la seconde du mois comme étendue des phénomènes orageux, ces derniers décroissent rapidement par suite d'un nouvel abaissement de la température. Le 22, le nombre des départements frappés n'est plus que de 26, il s'abaisse à 14 les 23 et 24 et 13 le 25. Les chutes de foudre et de grêle deviennent en même temps plus rares et surtout moins violentes. La température, qui était relativement fraîche les 23 et 24, s'élève de nouveau et le 25 ou le 26, suivant les régions, surpasse 30°. Les manifestations orageuses reprennent avec une énergie peu commune et s'étendent à tout le territoire, sauf le Sud-Est.

Le 26, le nombre des départements frappés est de 65; c'est, avec le 21, la journée qui tient le deuxième rang en importance. Des dégâts énormes ont été causés par la foudre, la grêle, le vent. — La foudre, dès le matin, tue des

bestiaux dans le Cantal; dans l'après-midi, elle sévit aussi sur d'autres départements, détruit une partie du presbytère de Flat (Puy-de-Dôme), cause des incendies dans l'Allier, le Rhône et de nombreux dégâts dans la Loire, l'Yonne, l'Aube, l'Oise, le Nord. — La grêle revêt un caractère désastreux dans le département de la Somme, particulièrement dans les arrondissements de Péronne et de Montdidier, où une cinquantaine de communes ont éprouvé des pertes évaluées à un million et demi. Dans l'Yonne, les vignes sont détruites à Vézelay. Dans le Puy-de-Dôme, les récoltes sont presque perdues pour certaines communes de l'arrondissement d'Issoire. Dans l'Hérault, à Notre-Dame-de-Londres, les grêlons atteignent la grosseur du pouce. — Enfin, des dégâts énormes ont été occasionnés par le vent : dans les Ardennes, une véritable tempête sévit à Montdiéu, la Chapelle, Signy-l'Abbaye, Thilay, Monthermé et Revin; dans le Rhône, à Lyon, soixante arbres du parc de la Tête-d'Or, arrachés, sont couchés dans la direction moyenne Sud-Ouest à Nord-Est. — Près de Paris, à Saint-Maur, l'orage a été très violent. Il s'est produit par une journée assez chaude, avec des vents de Sud-Est faibles et un temps nuageux; à 1^h40^m, le thermomètre atteignait 28°. Le tonnerre a grondé de 2^h à 5^h. A 4^h30^m, le vent s'est mis tout à coup à souffler très fort de l'Ouest, mais pendant peu de temps, puis tombe une grande pluie, mêlée d'un peu de grêle; enfin le vent redevient faible et variable du quadrant sud-ouest. L'orage a eu toute son intensité dans un espace elliptique allongé entre Montsouris et le Jardin des Plantes, la Bastille, Belleville et Noisy-le-Sec. De nombreuses vitres ont été brisées, notamment dans le quartier de la Bastille; la grêle était abondante et avait jusqu'à la grosseur des noix; au Jardin des Plantes, de gros arbres ont été brisés et les parterres de fleurs absolument hachés.

Après cette journée, les manifestations décroissent rapidement en étendue et en énergie; 36 départements sont atteints le 27, 24 le 28 et seulement 10 le 29. En même temps, les chutes de grêle et de foudre deviennent rares. Le 27, les seuls dégâts mentionnés s'étendent à la Loire (un homme blessé près de Rivede-Gier), au Cantal, à l'Hérault, enfin à quelques communes des environs de Belfort. Le 28, dans les Alpes-Maritimes, trois chèvres et six moutons sont foudroyés.

Le 29 une dépression aborde l'Irlande; le 30 son centre se dirige vers les Pays-Bas. Sous cette influence, les manifestations reprennent et embrassent, le 30, 33 départements; le lendemain 31, elles acquièrent encore de l'importance et envahissent 47 départements. — Les chutes de foudre sont fréquentes. Le 30, un cultivateur est tué dans l'Allier; le 31, une personne, abritée derrière un tas de gerbes de blé, est tuée à Saint-Martin, près de Longwy; des dégâts sont produits à Saint-Amand (Nord) dans le cimetière de Ribecourt (Oise) et sur une maison du hameau de Coullonges (Loire). — La grêle n'a causé de

dégâts que le 31, dans le Rhône, où le quart des récoltes de la commune de Saint-Jean-des-Vignes est perdu.

En somme, pendant ce mois, si les manifestations orageuses se sont comme d'habitude produites tous les jours, le nombre des départements frappés s'élève seulement à 811.

Août 1896.

Le mois d'août est exceptionnellement froid et peu orageux. Le nombre des départements atteints se réduit à 3 et 2 pour certains jours et même pour un jour à zéro, fait presque sans précédent.

Du reste, la température reste très basse partout pendant tout le mois, surtout du Centre à l'Est et au Nord-Est. On signale plusieurs fois des chutes de neige sur les stations élevées, au mont Mounier, au Pic du Midi, à Cauterets, Briançon, etc. Cet abaissement de la température est dû à la prédominance des vents du Nord, qui donnent à ce mois son véritable caractère.

Première période : du 1^{er} au 8. — Les fortes pressions dominant du 1^{er} au 17 sur les Iles Britanniques; elles s'étendent plus ou moins dans l'ouest de l'Europe, suivant l'importance des dépressions qui apparaissent durant ce laps de temps dans l'extrême Nord, vers l'Islande et la Scandinavie, ou, d'autre part, dans l'extrême Sud, vers l'Espagne. Ces dépressions affectent principalement l'est et le centre du continent, ainsi que la Méditerranée. Les plus importantes sont celles qui apparaissent les 3 et 8 au sud de l'Espagne et qui, traversant toute la Méditerranée occidentale jusqu'à l'Italie, se propagent à travers le centre de l'Europe jusqu'au nord-est de la Russie. Une autre se montre, le 13, vers les îles Shetland, se dirige d'abord vers le Danemark qu'elle atteint le 15, puis la Baltique orientale, pour disparaître, le 19, dans le sud-est de la Russie. Dans l'intervalle, un minimum, venu de l'Atlantique, pénètre le 15 dans la Méditerranée par le détroit de Gibraltar et atteint, le 16, les parages de la Sicile.

Sous l'influence de ces dépressions, le vent, sur nos régions, souffle le plus généralement du Nord, surtout d'entre Nord et Nord-Ouest. La température est très basse, principalement du 6 au 12. Les pluies sont générales, excepté du 11 au 14. De nombreuses manifestations électriques accompagnent les pluies jusqu'au 11.

Les 1^{er} et 2 août, les orages sont la continuation de ceux de juillet et sévissent presque exclusivement sur les régions Est et Nord-Est; 29 et 15 départements sont atteints; le 1^{er} les chutes de foudre sont nombreuses dans l'Aube et les Ardennes. — Le 3, les phénomènes orageux reprennent le matin avec une nouvelle intensité dans la région des Pyrénées et, l'après-midi, gagnent le Centre et l'Est : 27 départements sont frappés. Les chutes de foudre et de grêle sont nombreuses, la foudre tombe dans les Hautes-Pyrénées et l'Allier; la grêle

ravage le département de l'Aude, surtout les cantons de Belcaire et d'Axat, ainsi que l'Ariège aux environs de Foix.

Les manifestations prennent de l'amplitude et atteignent 38 départements le 4 et 53 le 5, puis seulement 29 le 6 et 8 le 7. Les 4 et 5 elles ont occasionné beaucoup de dommages, causés surtout par la grêle et le vent. Le 4, dans les Hautes-Pyrénées, les cantons de Labarthe, Lannemezan et Bagnères-de-Bigorre sont ravagés; pour une seule commune, les pertes s'élèvent à 40 000^{fr}. Dans la Haute-Garonne, la grêle détruit les trois quarts des vignes et céréales de la commune de Mondavezan, canton de Cazères; des dégâts analogues sont observés dans le canton du Fousseret. A Cuguron, canton de Montréjeau, le vent a brisé des arbres fruitiers; toute la partie septentrionale du département, limitrophe du Tarn, est dévastée. Mais les plus grands dégâts ont été relevés, pour cette journée, dans le département de l'Allier. Les vignobles des communes de Jenzat, Charroux, Saint-Germain-de-Salles ont été saccagés. A Jenzat, les grêlons atteignaient la grosseur d'une noix; 250 propriétaires ou fermiers ont eu leurs vignes détruites, les dégâts sont évalués à 32 000^{fr}. A Charroux, 14 hectares de vignes subissent une perte de 14 000^{fr}. A Saint-Germain-de-Salles, 15 hectares représentent 18 000^{fr} de perte. En Savoie, les pertes s'élèvent à 8 000^{fr} pour 3 communes seulement : Bourg-Saint-Maurice, Séez et Montvalez.

Le 5, les plus grands dégâts ont encore été causés par la grêle; toutefois les chutes de foudre ont été plus nombreuses que la veille et ont causé des accidents bien plus sérieux, entre autres la mort d'un homme foudroyé sous un noyer à Jaligny (Allier). Dans l'Ardèche et l'Hérault, des arbres sont brisés, et à Couhé (Vienne) les fils distributeurs de la lumière électrique sont coupés. Les dommages causés par la grêle s'étendent à l'Hérault, les Hautes-Pyrénées, la Lozère, puis la Drôme, les Hautes-Alpes, la Haute-Savoie. Enfin, le vent, sous forme d'ouragan, a emporté les récoltes à Chasserades (Lozère), à Uglas (Hautes-Pyrénées) et déraciné 200 arbres à La Chapelle, canton de Rive-de-Gier (Loire). La pluie cause de grands dommages dans la Drôme, notamment à Glandage, où deux personnes sont emportées par un torrent, et dans l'Isère, où des inondations se produisent à la Rivière. — Le 6, le seul accident sérieux noté se produit dans les Basses-Pyrénées, où une vache est foudroyée à Aldudes.

Le 8, au moment où un minimum apparaît sur l'Espagne, se dirigeant vers la Méditerranée, 22 départements sont frappés; le lendemain 9, ainsi que le 10, toutes les régions sont envahies, et le nombre des départements frappés s'élève à 58 et 60. Ces manifestations se développant sous l'influence d'un minimum méditerranéen, leur propagation se fait à l'inverse de ce qui se produit généralement, c'est-à-dire du Nord-Est au Sud-Ouest, et c'est la moitié nord du territoire (surtout le quadrant Nord-Est) qui est le plus éprouvée. Le 10 est la journée la plus importante du mois, les orages diminuent rapidement ensuite; le 11, la

moitié orientale du territoire est presque exclusivement frappée, soit un total de 36 départements, puis 10 départements sont atteints le 12, 7 le 13, et 2 seulement le 14. Les orages qui, le 8, avaient un caractère bénin, prennent les 9, 10 et 11 un caractère accentué de gravité. Nous résumerons seulement les dommages causés les 9 et 11, la journée du 10 faisant l'objet d'une étude détaillée (voir *Pl. A₈*).

Dès la matinée du 9, la foudre incendie une grange dans l'Allier, à Chantelle; dans l'après-midi, elle cause des dégâts dans les Ardennes, l'Yonne, la Haute-Saône et la Vendée; en Meurthe-et-Moselle, la tour de l'église d'Olley (canton d'Audun-le-Roman), considérée comme monument historique, est gravement endommagée. — La grêle, ce jour, a été plus désastreuse que la foudre. Dans l'Allier, elle détruit la moitié des récoltes des environs de La Palisse, notamment au village d'Arfeuilles où une véritable trombe l'accompagne; dans l'Yonne, elle sévit sur les récoltes et les vignes de Pontigny et de Coulangeron; dans la Haute-Saône, à Purgerot, elle ravage les tabacs; dans les Ardennes, elle sévit aussi avec violence, ainsi que dans la Meuse, à Mont-devant-Sassey, à Jouy-sous-les-Côtes, à Moulainville et Châtillon. A Paris (Saint-Maur), l'orage, bien que de longue durée (de 2^h à 4^h soir), a été plutôt médiocre. — Le 11, les dégâts ont été exclusivement occasionnés par les chutes de foudre. Ces dernières ont été violentes dans les départements de l'Allier et de Meurthe-et-Moselle. Dans l'Allier, aux environs de Cusset, à Virmeux, un cultivateur est tué dans sa grange; un hangar est incendié à Mayet-de-Montagne. Dans Meurthe-et-Moselle, la foudre tombe deux fois à Blainville-la-Grande et tue un enfant sous un peuplier où il s'était abrité. Dans le canton d'Haroué, elle brise un arbre à Griport.

Les jours suivants, les manifestations sont bénignes, elles ne reprennent avec énergie que le 15 sur les régions du Sud, du Sud-Est, du Centre et de l'Est, et 27 départements sont frappés. Les chutes de grêle, de foudre et de pluie causent des dégâts considérables; les premières compromettent gravement les récoltes dans les départements de la Lozère et de la Haute-Loire. Les secondes, très violentes, incendient des habitations dans la Lozère, la Haute-Loire, la Loire, l'Ardèche et tuent un homme à Borée (Ardèche). Enfin la pluie ravine les terres et provoque des éboulements dans les Hautes-Pyrénées et l'Ardèche. Cette énergie ne dure pas, car, dès le lendemain 16, les manifestations sont réduites de moitié et deviennent anodines, 13 départements seulement sont frappés; ce nombre se réduit à 7 pour les 17 et 18.

Deuxième période, du 18 au 30. — Le 18, l'aire des fortes pressions qui s'était avancée jusque sur le centre du continent se trouve refoulée sur l'océan Atlantique par une dépression qui se montre vers l'Écosse, descend jusque sur la Méditerranée le 20, puis remonte le 22 vers le Nord-Est et disparaît le 24 en Finlande. Dans ces conditions, les vents du Nord continuent à souffler. Ils acquièrent une certaine force les 26 et 27 sur toutes nos côtes et maintiennent l'abaisse-

ment de la température qui devient excessif du 28 au 30. Les pluies sont générales et presque quotidiennes.

Sous l'influence d'un pareil régime, les manifestations orageuses sont très peu développées; elles sont même d'une rareté exceptionnelle pour cette époque de l'année, et le 30 elles disparaissent complètement. On ne compte, pour tout ce laps de temps, que trois journées relativement intéressantes, celles des 19, 26 et 27. — Le 19, les orages éclatent sur 31 départements, presque tous situés dans la moitié orientale du territoire, ils sont, en général, anodins, les seuls dégâts observés se produisent dans la Haute-Saône où la foudre tombe sur une maison isolée à Bucey-lès-Gy. Le lendemain 20, les manifestations n'embrassent plus que 12 départements et seulement 3 le 21, 7 le 22, 6 le 23 et encore 3 le 24. — Le 25, les phénomènes orageux sont disséminés sur 10 départements. Ils deviennent plus compacts le 26, jour où ils s'étendent à la moitié nord-est du territoire et sévissent sur 34 départements, avec accompagnement de chutes de grêle et de foudre. Les premières causent pour 10 000^{fr} de dégâts aux vignes de la commune d'Yrouerre, arrondissement de Tonnerre (Yonne) et abiment pour une valeur d'un millier de francs les tabacs et les vignes de la partie nord du territoire de la commune de Montagney, canton de Pesmes (Haute-Saône). Des chutes de foudre sont signalées dans la Meuse, où des arbres sont mutilés. Enfin, dans la matinée, à l'Argentière (Hautes-Alpes), une trombe formée dans la vallée de la Vallouise se dirige vers le Sud et s'abat sur la commune du Puy-Saint-Vincent. Un toit nouvellement construit s'effondre. — Le 27, les manifestations orageuses prennent encore de l'extension et sévissent sur toute la partie du territoire comprise entre les 45^e et 50^e degrés de latitude; 46 départements sont frappés. Les chutes de grêle sont très nombreuses mais bénignes; quant aux chutes de foudre, elles sont signalées dans l'Orne, Maine-et-Loire, le Cher, et causent des dégâts insignifiants. A Saint-Maur on ne perçoit que quelques coups de tonnerre. — Le 28, le nombre des départements frappés s'abaisse à 13, et le 29 à 3 seulement; enfin, le 30, les manifestations orageuses cessent complètement. Elles réapparaissent le 31 sur 7 départements de la région Nord-Ouest et sont assez violentes sur la Normandie. La foudre incendie une maison à Sauxeménil, près de Valognes (Manche) et tombe, à Honfleur (Calvados), sur le bâtiment de l'éclairage électrique et dans une rue.

En somme, pendant ce mois, les manifestations qui se sont produites pendant 30 jours n'ont embrassé que 623 départements, nombre excessivement faible.

Septembre 1896.

Le mois de septembre est remarquable par la persistance des vents d'entre Sud et Ouest. Il est très pluvieux et présente une température assez élevée pendant la première moitié, fraîche pendant la seconde et se rapprochant en moyenne de la normale. Il est, en outre, faiblement orageux.

Première période, du 1^{er} au 15. — La profonde dépression qui existait le 30 août sur l'Écosse (740^{mm}) se comble rapidement le 1^{er} septembre. Un minimum secondaire peu important (756^{mm}) persiste seulement jusqu'au 3 sur les Pays-Bas et la mer du Nord. Dans l'intervalle une dépression, qui se trouve le 1^{er} sur l'Algérie, remonte vers le Nord : son centre se trouve le 2 au soir sur la péninsule Ibérique. Une seconde dépression s'avance le 3 au sud-ouest de l'Irlande; se trouve le 5 sur la Manche, puis descend à travers la France jusqu'au golfe de Gênes. Le 8, une dépression (755^{mm}) se montre vers le golfe de Gascogne, elle se déplace le 9 et le 10 vers le Nord en détachant un mouvement secondaire qui remonte la Manche et auquel se rattache une trombe qui ravage Paris dans la journée du 10. Ce mouvement secondaire se propage à travers le centre du continent et se perd le 12 vers la mer Noire tandis que la dépression principale persiste au sud-ouest de l'Irlande et est suivie d'un minimum important (739^{mm}) qui apparaît le 14 à l'ouest de Valentia et marche ensuite dans la direction du Nord-Est.

Cette phase est la plus orageuse du mois. Les manifestations électriques sont entraînées par les courants généraux du Sud-Ouest qui deviennent violents le 10 et maintiennent une température élevée à partir du 4. Les pluies sont générales et abondantes surtout sur le versant océanien. Les orages qui avaient repris le 31 août sur 7 départements, sous l'influence de la dépression d'Écosse, sévissent sur 15 le 1^{er} septembre et seulement 10 le 2 et 3 le 3. Quelques chutes de foudre sont observées le 2 septembre dans le département du Loiret sur des arbres et sur un clocher.

Cette accalmie des 2 et 3 n'est que passagère; les manifestations reprennent le 4 et sévissent sur 44 départements, répartis sur les régions du Sud-Ouest, du Centre et du Nord-Est, elles en frappent encore 33, le lendemain 5 et seulement 10 le 6. Les chutes de foudre et de grêle les accompagnent. — Les premières sont observées le 4 dans les Hautes-Pyrénées où des habitations sont incendiées aux environs de Tarbes. Le 5, un arbre est mutilé à Saint-Amand (Nord) et un troupeau de moutons est anéanti, aux environs de Toul (Meurthe-et-Moselle). Les plus grands dégâts ont été causés par la grêle, le 5, dans le département de la Haute-Saône. On les évalue à 1000^{fr} pour Chauvirey-le-Vieil, 1500^{fr} pour Raincourt, 2000^{fr} pour Chauvirey-le-Châtel et Montigny-les-Cherlieu,

2300^{fr} pour Saint-Marcel, 2500^{fr} pour Cemboing, 3200^{fr} pour Vitrey, 4000^{fr} pour Bétoncourt, 6000^{fr} pour Thomarey, 1200^{fr} pour Virey. Les communes les plus éprouvées sont celles de Bucy-les-Gy (25000^{fr}); Saint-Maurice et Gy, 35000^{fr}; Autoreille, 55000^{fr}. Enfin, pour la seule commune de Charcenne, les pertes sont évaluées à 250000^{fr}.

Les orages sont insignifiants le 6; le 7, ils frappent 12 départements, disséminés sur la moitié Sud, et la foudre tombe sur le Palais de Justice de Dax (Landes).

Le 8, les manifestations prennent tout à coup un développement énorme à l'approche de la dépression du golfe de Gascogne : 57 départements sont frappés. Cette énergie se maintient tant que la dépression reste dans le voisinage de nos côtes, comme cela a lieu les 9 et 10 (44 départements atteints à chacune de ces dates). Après une accalmie survenue les 11 et 12, pendant que le centre de dépression s'éloigne vers le large, une recrudescence se produit le 13 tandis qu'il se rapproche de nos régions et pendant cette journée, la plus remarquable du mois, 60 départements sont frappés. La dépression s'éloigne ensuite rapidement vers la Scandinavie, et les manifestations orageuses cessent aussi : le 14, 12 départements seulement sont atteints, leur nombre s'abaisse à 7 le 15, 3 le 16 et 4 le 17.

Les chutes de foudre ont été fréquentes, surtout le 8, et ont causé des dégâts très sérieux, elles ont été souvent mortelles pour les personnes. Le 8, un homme est foudroyé dans les Deux-Sèvres, à Chef-Boutonne. Dans le Puy-de-Dôme, un autre est foudroyé à Bussières, près d'Aigueperse, en outre, trois maisons sont incendiées à Saint-Fargeol, une habitation est endommagée à Saint-André-le-Coq, et le clocher de l'église de Saint-Hilaire est détérioré. Une grange est incendiée à Chapeau dans l'Allier et une ferme l'est aussi à La Chaize dans la Nièvre. Deux chèvres sont tuées à Lacoste (Hérault), enfin le fluide tombe à Saint-Lô (Manche) sans causer de grands dommages. Le 9, un jeune homme est tué à Dongermain, près de Toul (Meurthe-et-Moselle) et à Aibre (Doubs) une maison est incendiée. Le 10 septembre, les chutes de foudre sont fréquentes dans l'Est pendant la matinée. Du fourrage est incendié dans la Côte-d'Or; dans la Meuse des arbres sont mutilés et des bâtiments endommagés; enfin, à Létricourt, canton de Nomény (Meurthe-et-Moselle) un chasseur a une jambe paralysée. Dans l'après-midi, la foudre tombe sur le bourg d'Yenne (Savoie) sans amener d'accidents. Le 11, on n'observe aucun phénomène de cette nature, mais le 12 les chutes reprennent avec vigueur sur le département des Deux-Sèvres : de nombreux arbres sont mutilés et des habitations atteintes. Le 13, les appareils télégraphiques de la gare de Montrésor (Indre-et-Loire) sont endommagés, plusieurs poteaux télégraphiques sont mutilés et trois poutres brisés. Enfin, le 15, des arbres sont mutilés dans la Haute-Loire.

Si les chutes de grêle ont été moins fréquentes, elles ont néanmoins causé des dégâts sérieux. Le 8, certaines localités du département de l'Hérault sont fort éprouvées : à Cruzy, canton de Saint-Chinian, les grêlons atteignent la grosseur d'une noisette et abiment la moitié de la récolte; à Cesseras, près d'Alonzac, les vignes sont très endommagées. Le 10 septembre, une violente averse de grêle saccage les récoltes de la commune de la Grange-aux-Bois (Marne), les dégâts sont évalués à 30000^{fr}. Le 12, les vignes des environs de Niort (Deux-Sèvres) sont fort endommagées. Le 13, la grêle sévit avec la dernière violence dans le département de l'Aude, sur l'arrondissement de Narbonne. Pour les seules communes de Narbonne, Bages, Saint-André-de-Roquelongue et Bizanet, les dégâts sont évalués à plusieurs millions. De grands dommages ont été aussi causés le même jour aux vignes de Pardailhan, près de Saint-Pons (Hérault). De même, le 15, les vignes de Millau (Aveyron) ont été très éprouvées.

Enfin, une trombe a traversé Paris et sa banlieue pendant l'après-midi du 10 septembre, marchant en ligne presque droite du Sud-Ouest au Nord-Est avec une vitesse d'environ 50^m par seconde; elle a exercé ses ravages sur une largeur de 150^m en moyenne. Le baromètre enregistreur de l'observatoire de la tour Saint-Jacques, sur lequel la trombe a passé, a marqué une baisse subite de 6^{mm} au moment du passage, suivie d'une hausse immédiate. Les autres instruments enregistreurs n'ont rien accusé d'anormal. Le 12, le vent est très fort dans l'après-midi sur le département des Deux-Sèvres. De nombreux arbres sont arrachés ou brisés dans les cantons de Niort, Saint-Maixent et Fontenay.

Deuxième période, du 15 au 30. — Pendant la seconde moitié du mois, des dépressions continuent à circuler dans le nord-ouest de l'Europe; elles sont, en général très profondes. L'une a son centre le 17 au soir à l'ouest de l'Écosse (736^{mm}), elle atteint la Scandinavie le 19 et y persiste jusqu'au 21. Dans l'intervalle, un mouvement secondaire important se forme le 19 au soir sur le golfe de Gênes; il persiste jusqu'au 22 sur l'Italie septentrionale et le bassin de l'Adriatique. Les 21, 25 et 27, d'autres bourrasques venant du large se dirigent vers les régions polaires; la plus remarquable est celle qui apparaît le 25 sur le centre de l'Angleterre; la pression au centre s'abaisse à 728^{mm} à Liverpool. Cette bourrasque se déplace rapidement vers l'Est pendant la journée en amenant de violentes tempêtes sur la France et l'Angleterre, le 26 elle s'étend sur l'Europe centrale, l'Adriatique et se comble le 27.

Sous l'influence de ces bourrasques, les vents du Sud-Ouest sont toujours dominants sur la France; ils sont particulièrement violents sur les côtes et jusque dans l'intérieur pendant toute la journée du 25. La température continue d'abord son mouvement ascensionnel les 17 et 18, jours où se produisent les maxima absolus; elle s'abaisse dès le 19 sous l'influence d'une dépression près

du golfe de Gênes et devient même froide les derniers jours. Les pluies continuent, mais les orages qui les accompagnaient deviennent très rares.

Le 18, les orages apparaissent sur 9 départements situés pour la plupart en Lorraine et en Franche-Comté. Le lendemain, 19, les manifestations s'étendent principalement sur toute l'étendue du bassin du Rhône, ce qui représente un total de 27 départements. Aucun dommage n'est causé par la grêle ou la foudre. Le 20 septembre, les phénomènes orageux atteignent leur complet développement et sévissent sur 43 départements, presque tous situés sur la partie du territoire comprise entre le quarante-cinquième et le cinquantième degré de latitude, la Bretagne exceptée. Les chutes de grêle sont très fréquentes, mais, en général, anodines; elles ne causent des dégâts faibles que sur le département de la Haute-Saône. — A partir de ce moment, les manifestations orageuses diminuent très rapidement; le nombre des départements frappés s'abaisse à 4 dès le lendemain 21, et à 1 le 22; une légère recrudescence se manifeste les 23 et 24 où, pour chacune de ces journées, 12 départements sont frappés; puis le 25, sous l'influence de la profonde dépression des Iles Britanniques, le nombre des départements atteints monte à 17; après cet effort, il s'abaisse à 2 le lendemain 26 puis le 27 est la journée unique où les manifestations disparaissent complètement. Elles reprennent sur 1 département les 28 et 29 et s'étendent à 8 le 30.

Trombes du 25 septembre. — La journée du 25 septembre est intéressante parmi toutes celles que nous venons d'énumérer. Ce qui caractérise cette journée, c'est que les manifestations orageuses proprement dites sont rares, tandis que l'action du vent prend de l'importance. Plusieurs mouvements cycloniques se forment sous l'influence de la profonde bourrasque dont le centre est près de Liverpool.

Dès le matin, vers 10^h, dans les Hautes-Pyrénées, notamment à Nistos, le vent brise de nombreux arbres, renverse les meules de foin, détériore les maïs; les pertes, pour cette seule commune, sont évaluées à 10 000^{fr}. Dans la Nièvre, à la même heure, un grand nombre d'arbres sont brisés dans les forêts de la Machine et d'Alligny. La tempête acquiert son maximum d'intensité dans l'après-midi et dure pendant toute la nuit du 25 au 26. Elle est générale sur le département de l'Ariège. Au Pla, canton de Quérigut, l'ouragan commence à 10^h du matin et dure jusqu'au 27; il occasionne de nombreux dégâts en forêt. Il en est de même à Prades (canton d'Ax). Aux environs de Tarascon, indépendamment des arbres, des cheminées sont renversées. Dans les cantons de Belcaire, Axat, Monthoumet et Peyriac du département de l'Aude, et dans ceux de Montmirail, Lacaune, Saint-Amans-Soult du département du Tarn, les dommages s'étendent aux arbres fruitiers et aux toitures. Il en est de même pour les départements de la Charente-Inférieure, de la Vendée, du Rhône, de la Haute-Savoie, de Seine-et-Oise. Les

environs de Paris et la ville elle-même ont été très éprouvés par le phénomène. Le centre du cyclone se trouvait sur la capitale vers 1^h30^m, au moment où se produisait à Saint-Maur le minimum barométrique 730^{mm},14 à zéro (soit 734^{mm},6 au niveau de la mer); l'abaissement du baromètre qui a précédé l'ouragan a été de 27^{mm},5 du 24 à midi au 25 à la même heure. Un mouvement d'une aussi grande amplitude est sans exemple en septembre depuis cent quarante ans. Pendant la tempête, le vent, à la tour Eiffel, a atteint la vitesse, par direction du Sud, de 43^m,5 à la seconde à 8^h du matin et de 43^m,0 à 9^h du soir. Quelques jours auparavant, le 22, on avait enregistré, par un vent de Ouest-Sud-Ouest, une vitesse instantanée de 34^m,5 à 8^h du soir.

Le 27, une autre trombe se produit dans le département de la Nièvre : à Prémercy, un vent violent déracine ou brise 138 arbres en forêt; une forte pluie survient après cet ouragan.

En résumé, pendant le mois de septembre, les manifestations orageuses sont de moyenne intensité; elles se produisent tous les jours, sauf le 27, et embrassent 514 départements.

Octobre 1896.

Le mois d'octobre présente, en les accentuant, les mêmes caractères généraux que le mois de septembre. Il y a surtout aggravation du régime pluvieux. A Paris notamment, la quantité d'eau recueillie en 21 journées est de 158^{mm},7, nombre surpassant la hauteur moyenne de 94^{mm}. Pareil total n'avait pas été enregistré depuis 1769. Dans un grand nombre de stations des régions du Nord-Est et de l'Est, la hauteur de pluie est encore supérieure à celle de Paris. Au point de vue orageux, le mois d'octobre est assez remarquable.

Première période, du 1 au 18. — Le 3, la trajectoire des bourrasques, d'abord confinée dans l'extrême nord, se rapproche de nos latitudes. Le 4, une profonde dépression apparaît dans le nord-ouest des Iles Britanniques et disparaît le 8 vers la Laponie après avoir donné naissance, le 7, à un mouvement secondaire important sur le sud de la Norvège. Le même jour, une dépression encore plus profonde s'avance à l'ouest de l'Irlande, où le baromètre s'abaisse à 710^{mm}.

La situation est très mauvaise sur la France. Sous l'influence des profondes bourrasques du Nord-Ouest les courants du large dominant, un régime pluvieux tout à fait anormal, s'établit; il est encore plus accentué que celui de septembre. Les chutes sont générales et pour ainsi dire quotidiennes; à partir du 9 elles revêtent souvent un caractère torrentiel.

Les orages sont d'abord excessivement rares : pendant la première huitaine, ils ne frappent que 2 départements les 1^{er} et 3, 1 les 2 et 6, 3 les 4 et 7 et jusqu'à 8 le 5, jour où un hangar est incendié par la foudre dans le département de la Seine-Inférieure. Le 8, aucun n'est signalé, mais le 9 les orages reprennent

sur 5 départements et les 10, 11 et 12 s'étendent respectivement à 25, 28 et 24 départements; ce sont les trois journées les plus remarquables du mois. Les manifestations ont acquis une assez grande intensité sur les régions du Sud-Ouest, du Plateau central des Cévennes et sur le Nord-Est. Des orages disséminés se sont aussi produits en Bretagne : ils ont été accompagnés de chutes de foudre, le 10 dans l'Ille-et-Vilaine où du foin a été brûlé et le 12 dans les Côtes-du-Nord où des dégâts sont produits à la tour de l'église d'Uzel. Ce même jour, la foudre tombe sur l'hôtel des postes et des télégraphes de Dax (Landes). Une grande accalmie a lieu ensuite et les manifestations deviennent très disséminées et anodines; elles ne frappent plus que 5 départements le 13, 6 le 14, 3 le 15, 7 le 16, 4 le 17 et disparaissent complètement le 18.

Deuxième période, du 18 au 31. — Le 16 et le 17, un minimum qui vient des Açores couvre le nord de la France. Ce minimum se dirige vers la mer du Nord où il est attiré par une profonde dépression qui apparaît le 18 au nord de l'Écosse. Après le passage de ces bourrasques, la pression reste basse sur tout le continent et des mouvements secondaires se forment le 21 dans le nord de la France et le 22 sur le golfe du Lion. Le 27, une bourrasque, venue des Açores, traverse la péninsule Ibérique puis la France, dans la nuit du 28 au 29, et atteint le Danemark le 29 au soir.

En France, les conditions atmosphériques de la première quinzaine, pourtant si mauvaises, vont encore en s'accroissant, et les manifestations orageuses, interrompues le 18, reprennent le 19 et continuent jusqu'à la fin du mois. L'effort se porte de préférence sur la moitié sud-ouest du territoire et atteint son maximum d'intensité du 21 au 23 et les 30 et 31. Le nombre des départements frappés s'élève à 12 le 21, 17 le 22, 12 le 23, 10 le 26, 12 le 28 et enfin parvient à 22 le 30; le 31, il n'est plus que de 11. Étant donnée l'époque avancée où ces manifestations se sont produites, elles n'ont causé aucun dégât bien qu'elles aient été souvent accompagnées de chutes de grêle. Ces dernières ont été nombreuses le 22 sur les régions de l'Ouest et du Centre, le 23 dans le Sud-Est, le 26 en Bretagne et en Vendée, le 28 et le 30 sur le Plateau central et le 31 dans le Sud-Est. Quant aux chutes de foudre elles sont rares, mais très sérieuses, surtout le 30. Dans la Charente-Inférieure, à Mathès, près de la Tremblade, le fluide tombe sur le poste forestier, la porte de la cave est brisée, le préposé est blessé ainsi que sa femme. A Venteuges (Haute-Loire) la foudre tombe sur une voiture, une personne est tuée et une autre grièvement blessée.

En résumé, ce mois d'octobre est assez remarquable : il accuse 29 journées orageuses pendant lesquelles 259 départements ont été frappés.

Novembre 1896.

Le mois de novembre 1896 est, dans ses caractères généraux, en opposition absolue avec les deux mois précédents. Sa caractéristique est la prédominance des vents d'entre Nord et Est qui amènent un abaissement de la température tel qu'on ne trouve à Paris pendant le siècle, que deux mois correspondants aussi froids.

En France, la ligne des gelées commence à faire son apparition du 5 au 7; mais le refroidissement devient surtout excessif à partir du 23. Les 28 et 30 se produisent les minima absolus, qui sont de $-1^{\circ},4$ à Perpignan, $-2^{\circ},8$ à Nantes, $-3^{\circ},4$ à Lyon, $-6^{\circ},4$ à Clermont, $-6^{\circ},7$ à Paris, $-7^{\circ},0$ à Nancy et $-16^{\circ},6$ au Pic-du-Midi. Les pluies, qui régnaient depuis deux mois et avaient causé des inondations importantes à la fin d'octobre, diminuent au commencement de la période; elles sont générales le 7 et le 8, cessent le 9, puis reprennent du 14 au 20 et le 28. Quant à la neige, elle est signalée dans diverses stations, les 24, 25 et 27.

On comprend que, dans ces conditions, les manifestations orageuses sont excessivement rares; elles ont quelque importance seulement le 1^{er}, jour où elles sévissent sur 11 départements, répartis sur la Normandie, le littoral océanien et la région Sud-Est; elles sont accompagnées de chutes de foudre, qui causent des dégâts aux oliviers dans Vaucluse. Le lendemain, 2, le nombre des départements frappés s'abaisse à 3, puis les manifestations disparaissent, pour reprendre le 6 sur 5 départements. Les jours suivants, elles se répartissent ainsi : 1 département est frappé le 7, 3 le 8, 1 le 9, 2 le 10, 2 le 12, 1 le 13, 4 le 15, 1 les 16, 18, 21 et 22. Quelques chutes de grêle, du reste bénignes, sont signalées le 8 dans la Haute-Garonne. Le vent, dans les Hautes-Pyrénées, déracine ou brise le 15 de nombreux arbres et cause des dommages pour une valeur de 10 000^{fr} à Nistos.

En somme, pendant ce mois de novembre, on compte quatorze journées orageuses pendant lesquelles 37 départements seulement ont été atteints.

Décembre 1896.

A l'inverse du mois de novembre, décembre est en général chaud et pluvieux avec pression barométrique assez basse. Il est assez orageux pendant la première quinzaine. Il présente trois périodes bien caractérisées.

Première période : du 1^{er} au 15. — Le commencement du mois est remarquable par la série de profondes dépressions qui affectent principalement l'ouest de l'Europe. Du 1^{er} au 3 décembre, une large zone de basses pressions s'avance

lentement vers le continent. Le 4 un centre de tempête se dessine à l'entrée de la Manche (728^{mm}), il remonte cette mer et se trouve le 5 vers Yarmouth. Les minima barométriques observés vers le nord-ouest de la France sont dans la soirée du 4 de 715^{mm} à Brest vers 2^{h} , de 740^{mm} à Paris vers 11^{h} . La dépression qui suit la précédente est également importante. Elle apparait le 5 au soir à l'ouest de Scilly, se trouve le 6 vers Brest, puis le 7 vers Bruxelles : elle amène une forte baisse sur son passage. Le baromètre descend le dimanche 6 décembre à Paris à $731^{\text{mm}},5$ (niveau de la mer) à 7^{h} du matin, il reste bas tout le jour et à $11^{\text{h}}30^{\text{m}}$ du soir il est à $730^{\text{mm}},3$; c'est le minimum le plus bas depuis le 10 décembre 1872. A la Baumette, près Angers, on note à 4^{h} du soir la cote extraordinaire de $723^{\text{mm}},9$. Une autre bourrasque, encore très profonde, apparaît nettement le 13 au soir dans les mêmes parages de Scilly, se déplace vers l'Est-Sud-Est jusqu'au 15 puis se comble et perd son importance en Allemagne. La trajectoire passe un peu au nord de Paris où la baisse barométrique commence le 13 vers 9^{h} du matin, finit le 14 à midi et est en moyenne de 1^{mm} par heure; le minimum observé atteint $733^{\text{mm}},9$.

La persistance des faibles pressions dans le nord-ouest de l'Europe amène sur la France une prédominance marquée des vents de Sud à Ouest. La température est assez élevée; les maxima se produisent généralement du 2 au 4, ils atteignent 10° dans le Nord-Est, 15° dans l'Est et l'Ouest, 14° dans le Sud-Ouest et 16° dans le Centre et le Sud.

Cette période est la seule période orageuse du mois. Les manifestations commencent le 4 sur la moitié occidentale du territoire et envahissent 6 départements; le lendemain 5, 2 seulement sont frappés puis leur nombre passe à 13 le 6 qui est la journée la plus remarquable pendant laquelle des chutes de grêle nombreuses se produisent en Provence. Le 7, les orages ne frappent plus que 7 départements pour disparaître ensuite, et ne sévir à nouveau que les 11, 12, 13 sur 1 département, et les 14 et 15 sur 4 départements.

Deuxième période : du 16 au 25. — Elle est caractérisée par la prédominance des vents du Nord, les manifestations orageuses rares ne sont observées que les 17, 21, 24 et ne sévissent pour chacune de ces journées que sur 1 département.

Troisième période : du 26 au 31. — Pendant la dernière période, quoique les courants du large reprennent le dessus et que par conséquent le temps redevienne doux et pluvieux, une seule manifestation est observée le 26 en Vendée.

En résumé, en décembre, les phénomènes électriques ont été observés pendant 13 journées donnant un ensemble de 43 départements atteints.

Orages du 7 juillet 1896. (Voir la Carte A.)

Le 7 juillet, au matin, des dépressions orageuses s'avancent rapidement du large vers les Iles Britanniques et le golfe de Gascogne. Le baromètre descend sur tout le nord de la France, la baisse est de 8^{mm} à Cherbourg, 7^{mm} à Paris, 5^{mm} à Yarmouth (mer du Nord). L'aire des fortes pressions, supérieure à 765^{mm}, qui existait la veille sur la France, se réduit considérablement en se propageant vers l'Est; elle ne couvre plus qu'une faible partie de l'Allemagne et tend à disparaître. Le vent est faible d'entre Sud et Est sur nos côtes de la Manche et de l'Océan, d'entre Nord et Est sur celles de la Bretagne et de la Méditerranée. Depuis la veille, les pluies sont rares : on ne recueille qu'une chute de 22^{mm} vers l'île de Groix. La température est en hausse générale, excepté vers le golfe du Lion; on note, à 7^h du matin, 16° à Cherbourg, 18° à Brest, Clermont, Nancy; 20° à Paris, Limoges, Gap; 22° à Bordeaux, Perpignan, Marseille et enfin 24° à Toulouse.

Ces conditions atmosphériques sont éminemment propres à l'éclosion et au développement des phénomènes orageux.

Orages de la matinée. — Dès 3^h du matin, les orages font leur apparition sur le littoral vendéen, ils se propagent de l'Ouest-Sud-Ouest à l'Est-Nord-Est et sévissent en masse compacte de 4^h à 6^h sur les départements des Deux-Sèvres, de Maine-et-Loire, de l'Indre-et-Loire et de la Vienne. Dans le premier de ces départements, la foudre tue deux chevaux et blesse deux personnes à Saint-Jouin-de-Marnes, canton de Thouars.

Un autre groupe apparaît vers 8^h 30^m dans le sud-ouest d'Angers. Moins important que le précédent, il se dirige au nord-est où l'on perd sa trace vers midi, sur les confins de la Sarthe et de l'Orne. Il sévit avec le plus d'intensité dans la partie sud-ouest du département de la Sarthe où la foudre tue deux chevaux à Sablé et un à Souigné-sous-Vallon.

A mesure que la dépression du large s'avance, la température s'élève et les manifestations orageuses prennent de l'extension. Elles commencent vers 10^h du matin dans la haute vallée de la Garonne, et se propagent suivant le cours de ce fleuve dans sa partie supérieure; à midi elles sévissent aux environs de Toulouse et de Carcassonne, mais n'occasionnent aucun dégât.

Orages de l'après-midi. — *Groupes du Centre et de l'Est.* — Dans l'après-midi, vers 1^h, les phénomènes électriques sont signalés sur la région du Centre, où la température surpasse 30°. Le département de l'Allier est particulièrement affecté et, vers 3^h, les chutes de grêle sont nombreuses et désastreuses, certains grêlons ont atteint la grosseur d'une noix. Les communes de Toulon, Neuilly-le-Réal, Montbeugy, Chapeau et Mercy sont ravagées et les pertes totales

s'élèvent à la somme de 135 000^{fr.}. A Lurey-Lévy, une femme est foudroyée. Ce groupe d'orages se termine à 4^h aux environs de Lyon, où l'on signale encore des grêlons ayant la grosseur d'une noix et plusieurs chutes de foudre.

Vers 4^h du soir, une vaste dépression orageuse inférieure à 758^{mm} occupe le centre et l'ouest de la France; la température devient très élevée sur la majeure partie de nos régions : elle surpasse 30° dans l'Ouest, le Sud-Ouest, le Centre et l'Est; on note 32° à Toulouse et Lyon, 33° à Clermont. C'est alors que se développent les groupes d'orages les plus importants de la journée et qui figurent sur notre Carte.

A 4^h de l'après-midi, le département de l'Allier, déjà si éprouvé le matin, est atteint de nouveau. Les orages se propagent en éventail dans la direction de l'Est, du Nord-Est et du Nord. Ils atteignent d'un côté la frontière des Alpes et du Jura; de l'autre, ils traversent l'Île-de-France, où ils sévissent à 10^h dans la banlieue est de Paris pour arriver à minuit dans le département des Ardennes. Ce groupe s'étend vers 10^h sur toute la vallée de la Seine en aval de Paris. C'est le plus important de la journée.

Les chutes de foudre sont nombreuses et anodines généralement; mais celles de grêle sont d'une fréquence peu commune et causent de grands désastres dans les départements de l'Allier et de l'Yonne. — Dans l'Allier, les territoires épargnés par l'orage précédent sont à leur tour atteints. Au Donjon, les pertes dues à la grêle et au vent sont énormes; depuis 1880, on n'avait pas vu pareil orage. Les dégâts atteignent un total de 100 000^{fr.} pour le seul canton de Jaligny. La foudre cause quelques dommages à Maison-Neuve, près de Souvigny, et à Dompierre. — L'Yonne est, après l'Allier, le département le plus éprouvé. La grêle produit pour 60 000^{fr.} de dégâts à Saint-Privé; pour 1000^{fr.} à Eglény, canton de Toucy. — Enfin, dans le département de l'Isère, une trombe a été observée à Châtonnay et à Alleverd.

Groupe du Nord-Ouest. — Le deuxième groupe important affecte exclusivement la région du Nord-Ouest. Les orages commencent vers 5^h du soir aux environs de Rennes et à Ancenis (Loire-Inférieure) où se produit un ouragan; ils prennent vite une grande extension et se propagent encore en éventail. A 6^h, ils s'étendent de Saint-Malo au département des Deux-Sèvres; à 6^h 30^m, ils sévissent sur le Cotentin; à 8^h, ils sont échelonnés de Caen à Tours, puis ne tardent pas à disparaître. Les départements de la Sarthe et de l'Indre-et-Loire sont surtout éprouvés. — Le phénomène le plus intéressant est le tourbillon qui, au début de cet orage, vers 5^h, ravage les environs d'Ancenis. De grosses meules de foin sont emportées sans laisser de traces; un tombereau lourdement chargé est renversé, un autre portant trois barriques pleines est poussé dans un trou. Les routes sont jonchées de grosses branches cassées et d'arbres qui ont été déracinés en un instant, puis la grêle complète l'œuvre de destruction. Pendant un quart

d'heure, des grêlons, d'une grosseur démesurée, dévastent la ville et la campagne.

Les communes qui ont le plus souffert sont celles d'Ancenis, de Saint-Géréon, Saint-Herblon, Mésanger, Couffé, la Rouxière, Maumusson, Belligné de Varades et le village de Roche-Blanche-en-Saint-Herblon. A noter aussi les villages de la Châtellerie, la Gilarderie, l'Hermitage, la Planche, la Hervetière, la Cour de l'Île, la Blardière, la Marchanderie, le Verger. Les serres du château de la Guère sont détruites. On signale en outre de nombreux accidents et des enfants blessés par de gros grêlons. Le météore dévastateur a commencé à la Pichaudière, en Couffé, et s'étendait sur un rayon de 3^{km} environ avec son point terminus à 8^{km} de la Rouxière. La distance qui sépare ces deux points est de près de 30^{km}, elle a été parcourue avec une foudroyante rapidité. La contrée ravagée est une des plus fertiles de la région et les dégâts atteignent *deux millions*. C'est pour elle un désastre sans précédent.

Groupe du Sud-Ouest. — Le troisième groupe, figuré sur la Carte, débute vers 7^h du soir dans l'extrême Sud-Ouest et, comme les précédents, se dirige vers le Nord-Est. Toute son intensité se manifeste sur la région pyrénéenne, le département de la Haute-Garonne, la Gascogne et le Plateau Central où les dernières manifestations se produisent vers minuit. On note seulement quelques chutes de grêle sans importance aux environs de Montauban. En outre, la foudre tombe dans la Haute-Garonne, à Azas, canton de Montastruc, sur une bergerie et y tue 10 moutons; elle cause aussi des incendies.

Il reste, pour terminer l'étude de cette intéressante journée, à examiner deux groupes que, malgré leur importance capitale, nous n'avons pu tracer sur la Carte.

Vers 7^h du soir, les orages reprennent sur la région du Centre; ils sévissent pour la troisième fois d'une façon désastreuse, pendant deux heures, sur le département de l'Allier. Cette fois, les chutes de foudre surpassent en intensité celles de grêle; la grêle cause bien encore de grands dégâts à Moulins, Neuilly-le-Réal, Souvigny, Montmarault, mais des chutes de foudre en nombre plus considérable ont causé des dommages à Thiel, à Saint-Léopardin d'Augy, à Argenty, à Chantelle, à Yzeure, à Lurey-Lévy, à Montluçon.

Le second groupe éclate aussi vers 7^h. Il commence à l'ouest d'Angers et se propage jusqu'à la Lorraine, où il sévit vers 2^h du matin après avoir couvert l'Anjou, la Touraine, le Maine, la Normandie, l'Île-de-France, l'Orléanais, la Haute-Bourgogne et la partie méridionale de la Champagne. Les chutes de foudre ont été nombreuses au début. A Angers, le tramway électrique est atteint, une jeune fille est blessée; dans l'Orne, plusieurs chênes sont frappés. La grêle sévit surtout dans le département de l'Yonne; aux environs d'Auxerre, elle cause pour 300000^{fr} de dégâts à la seule commune de Saint-

Georges, et pour 20 000^{fr} à celle de Villefargeau. A Beauvoir, canton de Toucy, les vignes sont encore abimées.

Enfin, il reste à mentionner quelques chutes de foudre survenues dans l'Hérault de 9^h à minuit. L'une d'elles brûle le paratonnerre du bureau téléphonique à Fraïsse, canton de La Salvetat.

En somme, pendant cette journée, la plus orageuse de toute l'année, le nombre des départements atteints s'élève à 68.

Orages du 10 août 1896. (Voir la Carte A₈.)

La journée du 10 août 1896 offre plusieurs particularités intéressantes. D'abord c'est celle de l'année où les chutes de foudre ou de grêle se sont produites en plus grand nombre; ensuite, la situation générale atmosphérique est remarquable.

Un minimum barométrique bien atténué (758^{mm} à 760^{mm}) existe sur la Méditerranée occidentale, et un maximum (770^{mm}) se tient sur les Iles Britanniques; de plus, pendant toute la journée, les hauteurs restent supérieures à 765^{mm} sur nos côtes de la Manche.

Le régime général des vents est orienté du Nord-Est au Sud-Ouest et la température reste au-dessous de la normale comme dans tout le mois d'août; des chutes de neige sont même observées dans les stations élevées (Pic-du-Midi et mont Mounier). Pour presque toutes les régions les minima oscillent entre 10° et 14° et les maxima ne surpassent guère 22°. Aussi les orages, bien que fort nombreux, ne se présentent guère en groupes compacts; ils sont plutôt intéressants par leurs effets et surtout par l'anomalie de leurs trajectoires.

Les phénomènes orageux sont d'abord extrêmement rares. Pendant toute la matinée ils sont disséminés sur la Normandie, le Languedoc, le Dauphiné, et n'ont aucune importance. Vers 11^h du matin ils éclatent simultanément sur le Poitou, la Touraine, la Bourgogne, la Franche-Comté, la Lorraine, et sont accompagnés de quelques chutes de grêle. Tout l'intérêt de la journée se concentre sur l'après-midi.

Orages venant de l'Est ou du Nord. — Le premier groupe important apparaît à midi près de la frontière d'Alsace-Lorraine, vers le massif du Donon; il se propage de l'Est à l'Ouest et affecte exclusivement les départements des Vosges, de Meurthe-et-Moselle et la partie nord-est de celui de la Meuse (arrondissements de Verdun et de Montmédy), où il se termine vers 4^h du soir. Les chutes de grêle ont été très nombreuses et ont occasionné des dégâts considérables, notamment à Flavigny, aux environs de Nancy. La foudre sévit principalement dans la Meuse: à Fromezey, à 4^{km} d'Étain, une écurie est incendiée avec tous les animaux qu'elle contenait.

A Paris, vers 11^h30^m, éclate un violent orage versant 13^{mm} de pluie, tandis qu'à Saint-Maur on n'en recueille que 1^{mm}. Les nuées orageuses atteignent ensuite toute la vallée de la Seine, en aval de Paris, et entre 1^h et 2^h sévissent presque exclusivement sur la Seine-Inférieure.

A 2^h, un groupe d'orages, probablement venu de la Suisse, apparaît dans le département du Doubs, le long de la chaîne du Jura, et se dirige vers le Nord-Nord-Ouest. A ce moment une zone de pression relativement basse, venant de l'Europe centrale, s'avance jusque sur nos régions du centre. Le Doubs et la Haute-Saône sont dévastés. Dans la Haute-Saône, la foudre fait quatre victimes : à Mercey, à Scey, à Broyé-les-Pesmes et à Theuley; elle cause en outre des incendies ou des dégâts à Germigny, Visoncourt. La grêle détruit toutes les récoltes à Chartres, Cubry, Vannes, Citey, Fedry.

A la même heure, deux autres groupes de moindre importance éclatent sur la Touraine et le Poitou, ils se propagent du Nord-Nord-Est au Sud-Sud-Ouest. Les chutes de grêle sont nombreuses; la foudre tombe à Saint-Benoit, canton d'Azay-le-Rideau, sur une maison, elle blesse une personne.

Entre 4^h et 5^h du soir, un groupe d'orages venant du Nord éclate sur le Calvados et l'Orne. Dans le Calvados les chutes de foudre sont nombreuses et désastreuses.

Enfin, un dernier groupe plus étendu débute vers 4^h, aux confins des départements de l'Oise et de la Seine-Inférieure; il se propage d'un côté vers l'Ouest, de l'autre vers le Sud et se termine vers 7^h30^m du soir. Il sévit exclusivement sur les départements de la Seine-Inférieure, de l'Eure, de Seine-et-Oise et une partie de Seine-et-Marne après avoir contourné la banlieue sud de Paris où à ce moment aucune manifestation n'est signalée.

Orages venant du Sud ou de l'Ouest. — Les directions suivies par les orages que nous allons maintenant étudier sont en complète opposition avec les précédentes.

Entre 2^h et 3^h du soir, un groupe se propageant du Sud-Ouest au Nord-Est atteint le département du Cher. Un autre sévit sur l'Yonne et l'Aube. L'Yonne est ravagé par la grêle : les dégâts sont de 50 000^{fr} à Préhy, canton de Chablis, de 40 000^{fr} à Courgis.

Vers 3^h du soir, un groupe d'orages, surpassant en étendue tous les précédents, fait son apparition sur les départements de l'Allier et du Puy-de-Dôme; il se propage vers le Nord-Est et atteint à 7^h du soir les confins de la Champagne et de la Franche-Comté.

La grêle est rare, mais la foudre, surtout dans le département de l'Allier, cause de nombreux accidents, à Moulins, à Marcillat, à Avesnes. Dans le Puy-de-Dôme, à Saint-Julien-de-Coppel, canton de Billom, un homme est tué dans les champs, et la grêle hache les récoltes.

Enfin, quelques orages, tous marchant de l'Ouest à l'Est, se sont produits en Savoie vers 3^h du soir; sur le département de l'Hérault de 3^h à 4^h, en Dauphiné vers 4^h et dans la région pyrénéenne de 5^h à 6^h du soir. En outre quelques orages isolés ont sévi de 4^h à 4^h 30^m du soir à Vouvray, à Angers, à la Baumette, et à 7^h du soir dans le Doubs à Charquemont.

Cette journée, où 60 départements ont été atteints, est une des plus importantes par le nombre des manifestations désastreuses.

Résumé.

Les divers orages qui nous ont été signalés pendant l'année 1896 ont été résumés dans les deux Tableaux qui suivent : le Tableau I donne le nombre des départements atteints pour chacun des jours de l'année; le Tableau II le nombre des journées orageuses pendant chacun des mois. Ce dernier Tableau permet de comparer entre elles, au point de vue des orages, les diverses régions de la France.

TABLEAU I. — *Nombre de journées orageuses et nombre de départements atteints chaque jour pendant l'année 1896.*

Dates.	Janv.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1	0	0	0	0	27	36	5	29	15	2	11	0
2	0	0	1	0	5	59	7	15	10	1	3	0
3	0	0	7	2	3	53	3	27	3	2	0	0
4	0	0	22	3	3	53	3	38	44	3	0	6
5	0	0	14	1	7	56	3	53	33	8	0	2
6	0	0	1	0	17	62	10	29	10	1	5	13
7	0	0	0	0	21	47	68	8	12	3	1	7
8	0	0	1	2	28	50	45	22	57	0	3	0
9	1	0	1	3	31	39	30	58	44	5	1	0
10	0	0	2	1	32	19	45	60	44	25	2	0
11	0	0	0	0	16	12	32	36	9	28	0	1
12	0	0	1	12	22	7	23	10	10	24	2	1
13	0	0	1	11	18	8	7	7	60	5	1	1
14	1	2	0	1	12	47	4	2	12	6	0	4
15	1	0	0	5	27	41	63	27	7	3	4	4
16	0	0	0	1	15	32	44	13	3	7	1	0
17	0	1	1	2	5	19	27	7	4	4	0	1
18	0	0	15	5	6	6	9	7	9	0	1	0
19	0	0	5	3	6	12	7	31	27	8	0	0
20	0	1	3	3	17	8	29	12	43	10	0	0
21	0	0	3	8	7	6	65	3	4	12	1	1
22	0	0	5	7	4	6	26	7	1	17	1	0
23	0	1	12	3	9	15	14	6	12	12	0	0
24	0	0	8	2	7	61	14	3	12	2	0	1
25	0	1	18	2	18	60	13	10	17	8	0	0
26	0	0	7	3	28	19	65	34	2	10	0	1
27	1	0	5	3	32	6	36	46	0	4	0	0
28	0	0	22	12	52	16	24	13	1	12	0	0
29	0	0	11	33	38	2	10	3	1	4	0	0
30	0	0	3	18	32	1	33	0	8	22	0	0
31	0	0	3		27		47	7		11		0
Nombre de départements atteints. }	4	6	172	146	572	858	811	623	514	259	37	43
Nombre de journées orageuses du mois. }	4	5	25	25	31	30	31	30	29	29	14	13

TABLEAU II. — *Nombre de journées orageuses par département en 1896.*

Départements.	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année.
Ain.....	0	0	1	1	3	3	8	5	0	5	0	0	26
Aisne.....	0	0	0	2	2	9	13	7	9	2	0	0	44
Allier.....	0	0	4	2	3	12	9	8	10	1	0	1	50
Alpes (Basses-).....	0	0	3	5	20	12	15	13	12	13	1	1	95
Alpes (Hautes-).....	0	0	0	0	1	5	10	1	3	0	0	0	20
Alpes-Maritimes.....	0	0	1	0	6	6	11	6	4	7	1	0	42
Ardèche.....	0	0	1	5	12	13	17	12	7	10	1	0	78
Ardennes.....	0	0	1	4	3	9	13	7	6	2	0	0	45
Ariège.....	0	0	3	3	14	12	15	8	6	0	0	0	61
Aube.....	0	0	2	1	4	8	10	7	8	1	0	0	41
Aude.....	0	0	4	5	21	16	18	10	8	2	1	1	86
Aveyron.....	0	0	0	1	11	8	8	3	2	2	0	0	35
Belfort (Territoire de).....	0	0	3	4	7	12	14	11	9	3	0	0	63
Bouches-du-Rhône....	0	0	3	2	12	8	7	4	3	4	0	0	43
Calvados.....	0	0	3	0	3	12	6	8	10	5	1	1	49
Cantal.....	0	0	2	5	11	12	17	10	5	5	1	0	68
Charente.....	0	0	1	2	9	12	7	3	6	5	0	2	47
Charente-Inférieure...	0	0	0	0	7	11	5	8	5	9	0	1	46
Cher.....	0	0	4	1	3	13	9	7	5	2	0	0	41
Corrèze.....	0	0	0	1	4	2	3	2	1	0	0	0	13
Corse.....	1	0	3	3	14	7	6	7	3	5	7	3	59
Côte-d'Or.....	0	0	0	4	7	19	20	16	14	4	1	0	85
Côtes-du-Nord.....	0	0	0	0	2	3	1	3	1	3	0	0	13
Creuse.....	0	0	2	0	5	7	13	5	4	0	0	0	36
Dordogne.....	0	0	2	1	7	7	9	9	2	3	1	0	41
Doubs.....	0	0	10	6	7	16	17	17	13	4	0	1	91
Drôme.....	0	0	4	2	10	7	8	7	8	5	0	0	51
Eure.....	0	0	3	0	0	6	3	5	4	1	1	1	24
Eure-et-Loir.....	0	0	1	0	2	9	6	3	2	0	0	0	23
Finistère.....	0	0	1	0	0	4	4	1	2	1	0	1	14
Gard.....	0	0	2	4	14	10	11	7	7	3	0	0	58
Garonne (Haute-).....	0	0	3	2	17	19	11	12	4	3	1	1	73
Gers.....	0	0	0	0	8	6	5	8	0	0	0	0	27
Gironde.....	0	0	1	2	10	14	8	10	6	17	3	3	74
Hérault.....	0	0	2	4	14	11	13	10	6	3	0	0	63
Ile-et-Vilaine.....	0	0	4	2	1	8	4	6	4	5	0	0	34
Indre.....	0	0	1	0	3	10	7	2	5	1	0	0	29
Indre-et-Loire.....	0	0	2	1	4	12	8	5	6	2	0	0	40
Isère.....	0	3	10	8	14	16	23	14	13	10	1	1	113
Jura.....	0	0	0	1	7	9	10	12	4	1	0	0	44
Landes.....	0	0	3	1	13	8	5	3	3	1	0	0	37
Loir-et-Cher.....	0	0	1	0	2	10	4	4	4	1	0	0	26
Loire.....	0	0	0	0	1	1	11	10	5	4	0	1	33
Loire (Haute-).....	0	0	0	3	9	9	13	10	8	5	0	0	57
Loire-Inférieure.....	0	0	1	0	2	4	4	2	4	1	0	0	18
Loiret.....	0	0	4	4	7	15	11	8	11	1	0	0	61

A.40 RÉSUMÉ DES ORAGES EN FRANCE PENDANT L'ANNÉE 1896.

TABLEAU II (suite). — Nombre de journées orageuses par département en 1896.

Départements.	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année.
Lot.....	0	0	0	0	0	4	1	1	2	2	0	0	10
Lot-et-Garonne.....	0	1	2	1	9	10	10	4	2	4	2	1	46
Lozère.....	0	0	0	3	15	10	11	9	4	2	0	0	54
Maine-et-Loire.....	0	0	0	0	1	8	3	4	3	1	0	0	20
Manche.....	0	0	3	0	1	4	2	4	4	1	1	0	20
Marne.....	0	0	1	0	4	12	12	8	11	1	0	0	49
Marne (Haute-).....	0	0	2	3	7	13	14	14	13	4	0	0	70
Mayenne.....	0	0	2	0	2	5	3	4	1	0	0	0	17
Meurthe-et-Moselle...	0	0	0	0	2	8	9	7	3	0	0	0	29
Meuse.....	0	0	4	3	7	14	12	9	12	5	0	0	66
Morbihan.....	0	0	0	1	1	2	2	2	0	2	0	1	11
Nièvre.....	1	0	3	0	5	13	14	13	12	3	0	0	64
Nord.....	0	0	3	3	0	10	10	6	5	1	1	0	39
Oise.....	0	0	1	0	0	3	5	3	1	0	0	0	13
Orne.....	0	0	1	0	0	5	5	3	4	1	0	0	19
Pas-de-Calais.....	0	0	4	2	0	5	3	2	10	2	0	2	30
Puy-de-Dôme.....	0	0	1	1	6	9	16	10	3	4	0	1	51
Pyrénées (Basses-)...	0	1	3	3	16	22	13	13	7	5	5	3	91
Pyrénées (Hautes-)...	0	0	1	2	16	12	9	7	4	1	1	1	54
Pyrénées-Orientales..	0	0	1	2	12	17	18	3	1	0	0	0	54
Rhône.....	0	0	4	3	6	10	15	15	8	4	0	0	65
Saône (Haute-).....	0	0	3	2	4	12	14	10	10	2	0	1	58
Saône-et-Loire.....	0	0	2	4	9	11	14	16	10	7	0	2	75
Sarthe.....	0	0	1	1	0	13	5	2	10	0	0	0	32
Savoie.....	0	0	4	3	12	12	13	13	6	2	0	2	67
Savoie (Haute-).....	0	0	1	4	7	12	17	13	13	3	0	1	71
Seine.....	0	0	1	0	1	9	5	3	6	0	0	0	25
Seine-Inférieure.....	0	0	4	0	1	6	4	6	5	4	0	1	31
Seine-et-Marne.....	0	0	0	0	4	10	10	8	9	0	0	0	41
Seine-et-Oise.....	1	0	2	0	2	9	6	4	2	1	0	0	27
Sèvres (Deux-).....	0	0	1	1	6	16	7	7	8	6	0	1	53
Somme.....	0	0	3	1	1	8	4	5	9	1	0	1	33
Tarn.....	0	1	5	2	19	17	13	12	6	4	1	0	80
Tarn-et-Garonne.....	0	0	1	0	7	11	7	3	3	1	0	1	34
Var.....	0	0	1	3	19	15	8	11	7	5	2	4	75
Vaucluse.....	0	0	2	4	13	10	9	3	4	9	1	0	55
Vendée.....	1	0	3	1	8	10	6	5	5	5	2	1	47
Vienne.....	0	0	1	0	3	10	7	6	7	1	0	0	35
Vienne (Haute-).....	0	0	1	0	1	4	2	2	6	0	0	0	16
Vosges.....	0	0	2	1	4	15	13	10	7	2	0	0	54
Yonne.....	0	0	2	0	5	10	10	7	9	1	0	0	44



OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DU PARC SAINT-MAUR

PENDANT L'ANNÉE 1896,

PAR M. TH. MOUREAUX.

Les méthodes d'observation et de réduction des mesures magnétiques effectuées à l'observatoire du Parc Saint-Maur ont été développées dans les Volumes précédents des *Annales*; nous donnerons seulement ici, avec la revue magnétique de l'année, les résultats des mesures absolues et les Tableaux déduits du dépouillement des courbes relevées au magnétographe pendant l'année 1896.

Les mesures absolues ont été faites sur le pilier couvert, avec les mêmes instruments que les années antérieures. Du 10 mai au 10 juillet, période pendant laquelle nous avons effectué un voyage magnétique dans la Russie centrale, et pendant le mois d'août, les observations ont été faites par l'aide attaché au service, M. Jules Itié.

La sensibilité des appareils de variations, vérifiée par de fréquentes graduations, n'a pas subi de modifications appréciables, au moins pour le déclino-mètre et la balance. La valeur de $\frac{dH}{H}$ a été changée deux fois dans le cours de l'année, en raison du déplacement du bifilaire sur son pilier, ou par suite de la rupture du fil de suspension.

Valeur du millimètre sur les ordonnées des courbes.

Déclinomètre.....	1',531
Bifilaire (du 1 ^{er} janvier au 29 avril).....	0,000398H
» (du 29 avril au 7 novembre).....	0,000354H
» (du 7 novembre au 31 décembre).....	0,000340H
Balance magnétique.....	0,000202Z

Coordonnées géographiques de l'observatoire.

Longitude.....	0° 9'23"E
Latitude.....	48° 48'34"N

OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES.

Mesures absolues de la Déclinaison en 1896.

Dates.	Heures.		Déclinaison.	Dates.	Heures.		Déclinaison.
	^h ^m	à ^h ^m	^o [']		^h ^m	à ^h ^m	^o [']
Janv. 2.....	12.58	à 13.28	15.11,0	Juin 12.....	13.20	à 13.45	15.9,1
» 17.....	14.20	14.34	15.9,9	» 19.....	16.35	17.0	15.5,6
» 21.....	14.10	14.40	15.8,1	» 27.....	17.10	17.35	15.5,3
» 25.....	13.16	13.48	15.10,3	Juill. 8.....	13.20	13.47	15.9,1
Févr. 7.....	9.56	10.28	15.7,2	» 16.....	8.13	8.41	14.57,7
» 8.....	13.35	14.7	15.10,5	» 22.....	8.21	8.50	15.1,0
» 11.....	12.52	13.8	15.10,0	» 25.....	13.5	13.33	15.13,8
» 13.....	14.50	15.40	15.8,3	» 30.....	8.43	9.14	15.1,7
» 20.....	14.10	14.46	15.9,7	Août 4.....	13.25	13.53	15.8,7
» 20.....	15.26	15.42	15.8,5	» 6.....	13.18	13.45	15.9,6
Mars 7.....	8.40	9.12	15.5,5	» 13.....	13.10	13.35	15.8,8
» 13.....	12.52	13.21	15.12,6	» 20.....	12.28	12.54	15.7,9
» 21.....	16.15	16.50	15.4,9	» 28.....	13.9	13.44	15.11,1
» 24.....	13.37	14.6	15.10,7	» 31.....	6.54	7.22	14.58,8
» 31.....	15.2	15.30	15.12,8	Sept. 8.....	7.45	8.14	14.58,5
Avril 3.....	14.23	14.54	15.11,5	» 14.....	10.23	10.37	15.4,4
» 14.....	13.31	14.5	15.12,3	» 23.....	13.36	14.8	15.9,1
» 15.....	13.19	13.52	15.12,3	» 30.....	8.36	9.6	14.59,7
» 16.....	8.14	8.44	15.0,9	Oct. 3.....	12.58	13.33	15.9,5
» 22.....	7.32	8.3	15.0,2	» 6.....	15.47	16.1	15.3,8
» 27.....	13.37	14.6	15.11,9	» 8.....	8.13	8.45	14.59,7
Mai 6.....	7.51	8.24	15.0,6	» 23.....	15.0	15.16	15.7,0
» 6.....	9.45	10.16	15.4,6	» 23.....	15.29	15.57	15.7,2
» 8.....	0.58	1.12	15.9,0	» 28.....	14.39	14.53	15.3,5
» 9.....	16.45	17.16	15.4,5	Nov. 16.....	12.58	13.12	15.3,9
» 16.....	8.19	8.50	14.59,7	» 27.....	13.15	13.29	15.3,6
» 22.....	7.37	8.8	15.3,1	Déc. 8.....	12.39	13.17	15.2,9
» 27.....	17.11	17.37	15.5,5	» 22.....	13.24	14.1	15.3,1
» 28.....	7.32	8.2	14.58,2	» 26.....	13.9	13.47	15.3,2
Juin 4.....	13.15	13.41	15.6,2	» 31.....	10.26	10.54	15.2,1

Mesures absolues de la Composante horizontale en 1896.

Dates.	Heures.		Composante horizontale.	Dates.	Heures.		Composante horizontale.
	^h ^m	à ^h ^m			^h ^m	à ^h ^m	
Janv. 2.....	10.2	à 10.32	0,19679	Mars 13.....	13.45	à 14.45	0,19668
» 4.....	13.14	13.36	0,19644	» 13.....	16.29	17.6	0,19664
» 20.....	13.14	14.22	0,19644	» 18.....	13.3	14.5	0,19669
» 25.....	14.30	15.39	0,19678	» 24.....	15.6	16.7	0,19685
Févr. 6.....	10.16	11.24	0,19647	Avril 3.....	9.55	10.55	0,19662
» 8.....	9.32	10.47	0,19659	» 7.....	10.20	11.42	0,19672
» 10.....	8.22	10.9	0,19665	» 20.....	8.24	9.23	0,19679
» 10.....	12.46	15.2	0,19666	» 20.....	15.36	17.4	0,19714
» 11.....	9.36	10.34	0,19650	» 28.....	8.27	9.30	0,19686
» 20.....	8.52	9.55	0,19654	Mai 1.....	14.53	15.56	0,19699
» 20.....	10.40	11.30	0,19648	» 2.....	8.0	9.23	0,19694
Mars 9.....	8.47	10.39	0,19665	» 8.....	14.6	14.47	0,19669
» 9.....	14.38	15.55	0,19668	» 9.....	14.11	15.12	0,19676
» 11.....	8.3	9.2	0,19667	» 26.....	14.38	15.22	0,19688

OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES.

B.3

Mesures absolues de la Composante horizontale en 1896 (suite).

Dates.	Heures.		Composante horizontale.	Dates.	Heures.		Composante horizontale.
	^h ^m	^h ^m			^h ^m	^h ^m	
Mai 27.....	14. 7	à 14.59	0,19686	Sept. 24.....	9.11	à 10.39	0,19671
» 29.....	13.33	14.18	0,19697	» 26.....	10.46	12. 6	0,19683
Juin 12.....	15.35	16.51	0,19689	Oct. 3.....	9.42	11.15	0,19661
» 20.....	14. 8	15.20	0,19690	» 8.....	12.57	13.57	0,19694
» 27.....	13.23	14.31	0,19682	» 8.....	14.41	15.18	0,19695
Juill. 8.....	15. 3	16.12	0,19681	» 24.....	14.22	15.15	0,19668
» 20.....	16.42	17.51	0,19705	» 27.....	14.51	16.14	0,19691
» 21.....	9.25	10. 2	0,19703	» 28.....	8. 4	8.45	0,19696
» 30.....	9.51	10.50	0,19677	Nov. 16.....	9.50	11.21	0,19688
Août 6.....	15. 5	16.18	0,19695	» 27.....	14.54	15.18	0,19721
» 14.....	14. 8	15.19	0,19707	Déc. 8.....	9.51	11. 9	0,19677
» 31.....	8.18	8.47	0,19687	» 22.....	9.32	10.59	0,19688
Sept. 8.....	13.28	14.33	0,19715	» 26.....	14.29	15. 7	0,19687
» 16.....	13. 6	14.22	0,19677	» 31.....	9.35	10.16	0,19709

Mesures absolues de l'Inclinaison en 1896.

Dates.	Heures.		Inclinaison.	Dates.	Heures.		Inclinaison.
	^h ^m	^h ^m			^h ^m	^h ^m	
Janv. 21.....	12.48	à 13.40	65. 1,4	Juin 19.....	9.50	à 10.31	65. 2,9
» 23.....	14.44	15.34	65. 1,7	» 27.....	15.26	16. 4	65. 0,8
Févr. 22.....	13.15	14. 4	65. 0,7	Juill. 9.....	9.50	10.32	65. 3,1
Mars 13.....	15. 8	15.56	65. 1,9	» 20.....	10. 3	10.51	65. 0,3
» 18.....	9.41	10.31	65. 2,2	» 22.....	9. 6	9.52	65. 0,7
» 19.....	13.27	14.30	65. 1,6	» 31.....	9.21	10.10	65. 1,1
» 19.....	14.46	15.52	65. 1,5	Août 11.....	10. 5	10.43	65. 1,1
» 21.....	9.52	10.45	65. 1,2	» 20.....	15. 7	15.48	65. 0,8
Avril 7.....	8.26	9.20	65. 2,1	Sept. 19.....	16.35	17.23	65. 1,5
» 16.....	13.45	14.38	65. 0,6	» 30.....	9.38	10.30	65. 0,3
» 24.....	15.50	16.40	65. 2,8	Oct. 27.....	10.24	11.14	65. 0,3
» 25.....	16. 0	16.57	65. 2,7	» 30.....	8. 2	8.52	65. 0,8
Mai 5.....	16.42	18. 1	65. 1,8	» 31.....	13. 6	14.21	64.59,3
» 12.....	9.45	10.33	65. 1,3	Nov. 19.....	13.17	14.12	65. 0,5
» 20.....	16.58	17.42	65. 0,9	Déc. 9.....	13.24	14.17	65. 0,6
» 28.....	9.42	10.35	65. 2,0	» 28.....	13. 6	13.54	65. 0,1
Juin 12.....	9.58	10.43	65. 2,1	» 31.....	14.36	15.26	65. 0,7

Courants telluriques.

Nous reproduisons en regard des courbes magnétiques (*Pl.* B.I à B.XII) les courbes correspondantes des variations des courants telluriques sur nos deux lignes, qui sont orientées respectivement de l'ouest à l'est, et du nord au sud. Toutefois, on les a supprimées partiellement lorsque, par suite d'écarts brusques et précipités, il n'était plus possible de suivre nettement la position de l'image sur le papier sensible; celles du 18 et du 20 septembre font défaut, par suite d'un accident survenu à l'enregistreur.

La sensibilité du galvanomètre correspondant à la ligne nord-sud n'a pas été modifiée en 1896; comme en 1894 et 1895, $1^{\text{mm}} = 0^{\text{volt}}, 013$. Sur la ligne ouest-est, la sensibilité établie en 1894 a été maintenue jusqu'au 5 septembre 1896; pendant cette période, $1^{\text{mm}} = 0^{\text{volt}}, 022$. A cette date, on a réglé la résistance intérieure de façon que les variations soient de même ordre de grandeur sur chacune des deux lignes; à partir du 6 septembre, et jusqu'à la fin de l'année, 1^{mm} d'ordonnée de la courbe, sur la ligne ouest-est, vaut $0^{\text{volt}}, 013$ comme sur la ligne nord-sud.

Rappelons que la distance rectiligne des *terres* qui terminent les deux lignes est, pour chacune d'elles, de $14^{\text{km}}, 8$.

Taches solaires.

On a continué, comme les années précédentes et dans les mêmes conditions, les observations relatives à la statistique des taches solaires. Le nombre des jours d'observation, considérablement réduit par suite de la grande nébulosité du ciel pendant le second semestre, est seulement de 165, pendant lesquels on a observé 121 taches ou groupes de taches. La diminution de l'activité solaire est très sensible en 1896; depuis le 22 août 1891, on n'avait pas observé le Soleil une seule fois sans constater la présence de taches à sa surface; cette longue période a pris fin le 11 janvier 1896, jour où, pour la première fois depuis plus de quatre années, le Soleil a paru tout à fait dépourvu de taches.

Tableau résumé des observations des taches solaires en 1896.

	Nombre de jours			Taches ou groupes de taches.
	avec taches.	sans taches.	sans observ.	
Janvier	9	1	21	10
Février.....	18	0	11	13
Mars	13	0	18	12
Avril.....	13	2	15	11
Mai.....	18	4	9	9
Juin.....	16	0	14	9
Juillet.....	16	0	15	15
Août.....	19	0	12	8
Septembre.....	16	0	14	10
Octobre.....	11	3	17	6
Novembre.....	10	0	20	11
Décembre.....	6	0	25	7
Totaux.....	165	10	191	121

REVUE MAGNÉTIQUE DE L'ANNÉE 1896.

Dans la discussion générale des courbes magnétiques de 1896, nous désignerons, comme d'usage, la déclinaison par D, la composante horizontale par H, la composante verticale par Z; nous dirons que D diminue lorsque le nombre absolu qui représente la déclinaison diminue lui-même, c'est-à-dire lorsque le pôle nord du barreau du déclinomètre se rapproche du méridien géographique, en se dirigeant vers l'Est.

Douze Planches (B.I à B.XII) sont consacrées à la reproduction, en grandeur naturelle, de nos courbes les plus intéressantes; comme les années précédentes, le choix des dates a été arrêté de concert avec l'observatoire de Greenwich. On a indiqué sur chaque Planche, vers l'origine des courbes, la grandeur des ordonnées correspondant à $\pm 10'$ pour la déclinaison, $\pm 0,00100$ (unités C. G. S.) pour la composante horizontale, $\pm 0,00050$ pour la composante verticale. Les heures sont comptées en temps local, de 0^h à 24^h , à partir de minuit.

Janvier. — La variation diurne des éléments magnétiques est régulière le 1^{er}, et le 2 jusque vers 21^h ; à ce moment, apparaissent les premiers troubles d'une longue série de perturbations, dont les phases les plus importantes, correspondant aux journées des 3, 4 et 5, sont reproduites ici (*Pl. B.I, fig. 1 et 2; Pl. B.II, fig. 1*). Le 3, entre $0^h 20^m$ et $1^h 10^m$, la déclinaison diminue de $25'$; la perturbation de la composante horizontale est également dans le sens d'une diminution de cet élément; la composante verticale est moins affectée. L'agitation est soutenue, mais moins accusée, pendant les heures de jour, puis les oscillations irrégulières augmentent d'amplitude la nuit suivante, et la répétition des mêmes phénomènes se retrouve sur les courbes du 4 et du 5. Les courbes du 6 au 11 restent plus ou moins agitées, surtout pendant les heures de nuit; une accalmie relative se montre sur celles du 12 et du 13, et même, par intervalles, sur celles du 14 au 16; mais le 17, une nouvelle série de troubles apparaît dès les premières heures; la plus forte oscillation se produit dans l'après-midi; entre $14^h 6^m$ et $15^h 10^m$, D diminue de $25'$, pour revenir plus lentement à sa valeur normale; H varie dans le même sens, tandis que Z varie en sens inverse; l'agitation est grande encore le 19 et le 20, puis les variations sont moins anormales.

Le 22, à $16^h 58^m$, à $17^h 3^m$ et à $23^h 30^m$, les courbes, principalement celle du bifilaire, portent la trace du trouble spécial que l'on constate fréquemment lors des tremblements de terre. La série du 23 au 29 correspond à une période de calme relatif. Le 30 au matin, une nouvelle perturbation se déclare; les mouvements des barreaux sont incessants et se prolongent jusqu'en février. La période

d'activité maximum, du 31 janvier au 1^{er} février, est reproduite *Pl. B.II, fig. 2*; les variations anormales atteignent leur plus grande amplitude le 31, entre 19^h et 22^h; elles sont de sens opposés pour D et H.

Pendant ce mois, la variation diurne régulière est de 5',6 pour la déclinaison, 0,00020 pour la composante horizontale, et 0,00012 pour la composante verticale.

En désignant comme perturbations, ainsi que nous l'avons fait jusqu'ici, les valeurs qui s'écartent de la moyenne horaire correspondante, de $\pm 3'$ pour la déclinaison, de $\pm 0,00020$ pour la composante horizontale, on constate que le nombre des observations horaires ainsi troublées est, en janvier, de 65 pour D, et de 107 pour H.

10 taches ou groupes de taches solaires ont été observés en janvier.

Février. — La série de troubles survenus le 30 janvier se continue presque sans interruption, mais avec une intensité très variable, jusqu'au 5 février, la perturbation atteignant sa phase maximum dans la soirée du 4 (voir *Pl. B.III, fig. 1*). On verra que, entre 16^h et 16^h30^m, D et H diminuent simultanément, tandis qu'entre 19^h et 21^h les variations de ces deux éléments sont très différentes. Les courbes du 6 et du 7 sont moins irrégulières; le 8, de 16^h45^m à 17^h20^m, D et H subissent un mouvement accentué, dans le sens d'une diminution; le 9, au contraire, entre 23^h et 24^h, les mouvements de ces deux éléments sont de sens opposés: H augmente, D diminue. Le 13, à 22^h24^m, la déclinaison passe par un minimum qui tombe à 17' au-dessous de la moyenne horaire correspondante; le 14, dès 3^h, les mouvements vibratoires des aimants se manifestent et persistent jusqu'après 15^h; les oscillations augmentent ensuite d'amplitude et sont plutôt de forme ondulatoire. L'agitation est encore assez accusée le 15, puis, peu à peu, les irrégularités deviennent plus rares et de moindre importance; les variations sont à peu près normales le 20. De nouveaux troubles se manifestent les jours suivants, augmentent graduellement d'intensité et prennent le caractère d'une véritable perturbation le 28 et le 29 (voir *Pl. B.III, fig. 2*, et *Pl. B.IV, fig. 1*); l'écart extrême, pendant la soirée du 28, atteint 39' pour D, 0,0019 pour H, 0,0006 pour Z.

La variation diurne régulière est de 6',5 pour la déclinaison, 0,00023 pour la composante horizontale, 0,00019 pour la composante verticale. On compte 62 perturbations de D, et 96 de H.

On a pu, dans ce mois, observer le Soleil pendant 18 jours, et suivre 13 taches ou groupes de taches. Le nombre et la surface totale des taches sont passés par un maximum accentué dans la dernière quinzaine de février; la plus grande avait une étendue telle qu'il a été possible de l'observer à l'œil nu les 23, 24 et 25.

Mars. — La perturbation survenue dans les derniers jours de février a pris fin le 29, vers 21^h; les variations sont moins irrégulières le 1^{er} et le 2 mars, mais, dans la soirée du 3, l'agitation réapparaît, et peu à peu une perturbation se développe; le 4, de 7^h 30^m à 14^h, les mouvements des aimants sont de nature vibratoire; peu après 15^h et jusqu'à 4^h le 5, les oscillations prennent et conservent une grande amplitude, notamment au déclinomètre, dont la variation atteint 25' entre 19^h 50^m et 23^h 50^m le 4 (voir *Pl. B.IV, fig. 2*). Les courbes sont assez régulières le 5 et le 6; celles du 7 sont troublées dans toute leur étendue; la composante verticale, notamment, passe par un minimum remarquable à 3^h 6^m, et l'agitation ne cesse que le 8 vers 3^h. Le 11, à 15^h 18^m, la déclinaison et la composante horizontale subissent simultanément un mouvement rapide de hausse, suivi par une série d'oscillations anormales de faible amplitude; l'agitation devient plus vive le 12, elle est principalement accentuée dans l'après-midi; entre 15^h 48^m et 16^h 6^m, D diminue de 17'. Des écarts accidentels de grande amplitude se montrent encore dans la nuit du 13 au 14, puis les aimants sont ensuite animés de mouvements vibratoires qui persistent jusqu'au 15 à 12^h. Les courbes des jours suivants sont assez régulières jusqu'au 19; le 20, la déclinaison se tient très élevée, surtout pendant les heures de jour, tandis que la composante horizontale est faible de 18^h à 19^h. Le 22, entre 0^h et 1^h, les barreaux du déclinomètre et du biflaire subissent une oscillation de forme ondulatoire, dans le sens d'un excès de D et de H. Une série de perturbations se succèdent depuis le 25 jusqu'au 29; l'agitation se développe progressivement jusqu'au 27 (voir *Pl. B.V, fig. 1*), pour se dissiper ensuite d'une manière également lente. Les journées du 30 et du 31 sont à peu près calmes.

La variation diurne régulière atteint 11', 6 pour D; elle est de 0,00026 pour H et pour Z; les observations horaires troublées sont au nombre de 68 pour la déclinaison, et de 117 pour la composante horizontale.

Le Soleil n'a pu être observé que pendant 13 jours; on a suivi 12 taches ou groupes de taches.

Une aurore boréale a été observée en un grand nombre de points des Iles Britanniques dans la soirée du 4 mars.

Avril. — Les courbes du 1^{er} et du 2 ne présentent aucune particularité intéressante. Le 3, entre 20^h et 21^h, D diminue rapidement pour revenir, après 40 minutes, à sa valeur normale; en même temps, H subit une variation de sens opposés. Quelques faibles irrégularités se remarquent sur les courbes du 4 et du 5, puis la situation est sensiblement calme le 6 et le 7. Le 8, à 10^h 15^m, diminution simultanée de D et de H. Les aimants sont assez agités pendant toute la nuit du 10 au 11, mais le calme se rétablit bientôt, et, si l'on en excepte quelques écarts de peu d'importance, la variation diurne est à peu près normale

jusqu'au 20. A partir du 21 à 12^h jusqu'au 26 à 12^h, la force magnétique reste troublée, les oscillations de plus grande amplitude se produisant principalement pendant les heures de nuit. Les phénomènes sont sensiblement réguliers le 29 et le 30.

La variation diurne en avril est de 12',6 pour la déclinaison, 0,00037 pour la composante horizontale, 0,00032 pour la composante verticale. La perturbation a surtout porté sur la déclinaison, qui fournit 73 observations troublées, alors qu'il s'en trouve seulement 67 de la composante horizontale.

On a observé le Soleil pendant 15 jours seulement, et l'on a noté 11 taches ou groupes de taches.

Mai. — La situation magnétique est assez régulière le 1^{er}, mais dès le 2 à 9^h, une grande perturbation commence à se manifester; les oscillations, d'abord faibles et précipitées, prennent par intervalles une grande amplitude. Les périodes de plus grande agitation sont : le 2, de 13^h à 14^h, de 16^h à 17^h, de 19^h à 20^h, de 23^h à 24^h; le 3, de 16^h à 23^h (voir *Pl. B.V, fig. 2*, et *Pl. B.VI, fig. 1*). Les écarts extrêmes des différents éléments sont : le 2, $D = 38'$, $H = 0,0017$, $Z = 0,0014$; le 3, $D = 32'$, $H = 0,0023$, $Z = 0,0011$. Les aimants reviennent rapidement au repos et les variations sont très régulières du 4 à 12^h au 5 à 12^h; les journées suivantes jusqu'au 10, sans être absolument calmes, ne présentent que des écarts insignifiants. Ces écarts sont plus fréquents le 11, et surtout le 12 dans la soirée; un calme relatif s'établit ensuite et persiste jusqu'au 16, mais le 17, à partir de 15^h, survient une nouvelle perturbation dont le maximum d'intensité se produit vers le milieu de la nuit suivante (voir *Pl. B.VI, fig. 2*). La situation reste plus ou moins troublée, d'une manière pour ainsi dire permanente, jusqu'au 25. Le calme se rétablit alors et persiste jusqu'à la fin du mois.

La variation diurne régulière est de 11',8 pour D , 0,00034 pour H , 0,00033 pour Z . C'est pendant ce mois qu'on a relevé le plus grand nombre d'observations horaires troublées; on en compte 76 pour la déclinaison, et 171 pour la composante horizontale. On a suivi 9 taches ou groupes de taches solaires en 22 jours.

Une aurore boréale a été observée en divers points de l'Angleterre et de l'Écosse dans la soirée du 17 mai.

Juin. — La période de calme magnétique signalée à la fin de mai s'est continuée jusqu'au 8 juin; nous signalerons seulement, dans cet intervalle, deux troubles spéciaux, traduits par des épaisissements des courbes, et dus aux deux orages survenus au Parc Saint-Maur le 2, un peu après 15^h, et le 7 à 14^h40^m. Une certaine agitation se remarque dans la nuit du 8 au 9, et le 9, de 12^h à 24^h, ces derniers troubles affectant plus spécialement l'aimant du bifi-

laire. Les écarts sont moins irréguliers les jours suivants; mais, dans la soirée du 14, l'agitation est très marquée, principalement de 16^h à 18^h. Après une courte accalmie, correspondant à la journée du 15, de nouveaux troubles surviennent, fréquents, mais d'amplitude relativement faible, et durent depuis le 16 à 9^h jusqu'au 17 à 18^h. Une période de calme survient ensuite et se continue jusqu'au 28, interrompue seulement par de faibles écarts accidentels, vers le milieu de la nuit du 26 au 27; les courbes du 24 sont même absolument régulières, et cette particularité est assez rare en 1896. Enfin, les courbes du 29 et du 30 sont agitées par intervalles.

De tous les mois de la saison chaude, c'est juin qui présente la moindre variation diurne régulière de la déclinaison, 10',5, et de la composante horizontale, 0,00033; la variation diurne de la composante verticale est de 0,00024. On compte seulement, dans ce mois, 35 observations troublées de D et 75 de H.

On a observé 9 taches ou groupes de taches solaires en 16 jours.

Juillet. — La situation magnétique est sensiblement normale le 1^{er} et le 2. Le 3, à partir de 15^h, une forte agitation commence à se manifester; les mouvements irréguliers des aimants, particulièrement accentués de 20^h à 22^h, sont incessants, et cette condition particulière se maintient jusqu'au soir du 6; par intervalles, notamment le 4 de 4^h à 10^h, de 12^h à 13^h, et le 5 de 6^h à 10^h, les variations accidentelles sont de forme vibratoire. La période du 7 au 10 est relativement calme, puis une nouvelle série de troubles commence le 11 vers 17^h; les plus grandes variations de la déclinaison s'observent vers le milieu de la nuit; c'est seulement plus tard, à 8^h25^m le 12, que la composante horizontale passe par un minimum anormal (voir *Pl. B. VII, fig. 1*). L'agitation s'affaiblit les jours suivants, et les courbes du 17 au 22 sont à peu près régulières. Celles du 23 au 24 sont reproduites (*Pl. B. VII, fig. 2*); le choix de ces courbes est justifié, moins par l'importance de la perturbation, que par le mouvement brusque survenu aux trois aimants à 18^h20^m le 23, affectant plus spécialement celui du bifilaire; en un instant, la composante horizontale a augmenté de 0,0008; la variation correspondante de D est de même sens, mais de moindre amplitude, tandis que Z varie dans le sens d'une diminution.

Un phénomène de même ordre se montre le 27, à 12^h54^m; brusquement, D et H augmentent, Z diminue; l'agitation est d'ailleurs très faible dans l'après-midi. Les derniers jours du mois correspondent à une période de calme magnétique.

La variation diurne est de 11',0 pour D, 0,00037 pour H, 0,00024 pour Z. On compte, dans ce mois, 43 observations troublées de la déclinaison, et 103 de la composante horizontale.

On a observé, en juillet, 15 taches ou groupes de taches solaires en 16 jours.

Août. — Une perturbation magnétique se déclare le 1^{er} à 12^h, et affecte surtout la composante horizontale, dont les écarts de plus grande amplitude se manifestent de 14^h à 18^h et de 22^h à 24^h (voir *Pl. B. VIII, fig. 1*). Le 2, de 6^h à 9^h, les mouvements des aimants sont vibratoires et, vers 10^h, H passe par un minimum irrégulier très accentué. L'agitation est marquée encore le 2 dans l'après-midi, et le 3 de 10^h à 18^h, puis le calme se rétablit momentanément jusqu'au 5. Les courbes du 6 au 7 (voir *Pl. B. VIII, fig. 2*) témoignent d'une nouvelle perturbation, dont la phase principale se produit pendant les heures de nuit.

L'agitation des barreaux est plus faible, mais incessante, surtout au bifilaire, jusqu'au 10 à 18^h; les variations sont ensuite plus régulières jusqu'au 16, et ce jour-là, le calme est parfait. Dans la nuit du 17 au 18, des troubles passagers surviennent, et la composante horizontale est au-dessus de sa valeur normale depuis 18^h jusqu'à 4^h. Le 20, une perturbation peu importante débute par une hausse brusque de H à 16^h36^m; les oscillations des aimants sont surtout importantes le matin du 21, et, entre 2^h50^m et 8^h42^m, H diminue de 0,0018; D subit, au contraire, un mouvement de hausse; on remarque encore, par intervalles, des écarts irréguliers sur les courbes du 23 et du 24. Celles du 26 indiquent, à 9^h42^m, une diminution brusque de H, et une augmentation simultanée, mais moins accusée, de Z; elles portent, en outre, la trace de trois troubles de nature particulière, paraissant se rattacher au tremblement de terre survenu à ce moment en Islande. Le premier de ces troubles s'est produit à 23^h36^m, et les deux autres, plus accentués, respectivement à 23^h42^m et à 23^h46^m. Aucune particularité intéressante ne se montre sur les courbes du 27 et du 28; le 29, à 16^h49^m, mouvement brusque appréciable principalement à la composante horizontale, qui augmente de 0,0005; l'agitation, qui dure toute la nuit suivante, a sa plus grande intensité entre 23^h et 1^h (voir *Pl. B. IX, fig. 1*). Les variations sont à peu près régulières le 30 et le 31.

La variation diurne est de 11',3 pour D, 0,00044 pour H (c'est le maximum absolu de l'année), 0,00024 pour Z. Les observations horaires troublées sont au nombre de 43 pour la déclinaison, et de 79 pour la composante horizontale.

On a suivi seulement 8 taches ou groupes de taches solaires, en 19 jours d'observation.

Septembre. — Comme dans les derniers jours d'août, les courbes sont régulières le 1^{er} septembre, et le 2 jusqu'à 22^h20^m; à ce moment, H augmente lentement, passe par un maximum à 23^h, et reprend sa valeur normale vers 24^h; les autres éléments sont à peine affectés. Les trois courbes sont agitées le 3, de 11^h à 18^h, et de faibles écarts accidentels se montrent ensuite par intervalles. Le 6, de 0^h20^m à 0^h30^m, on remarque un épaissement prolongé des courbes, causé vraisemblablement par une nouvelle secousse de tremblement de terre

signalée en Islande vers le milieu de la nuit. On n'a pas enregistré de trouble magnétique de quelque importance jusqu'au 16; toutefois, un orage qui a éclaté au Parc Saint-Maur le 13, à 3^h 15^m, a influencé les aimants des appareils de variations, spécialement celui du déclinomètre. Le 17, à 18^h 30^m, une perturbation se manifeste par un déplacement brusque des trois courbes : H augmente, D et Z diminuent; les oscillations consécutives à ce mouvement sont d'abord peu importantes, mais, vers 5^h le 18, H commence à baisser rapidement et passe par un minimum très accentué à 9^h 4^m; dans l'intervalle, cet élément diminue de 0,0028. La perturbation se continue jusque vers 20^h, le minimum de la déclinaison s'étant produit à 18^h 54^m (voir *Pl. B. IX, fig. 2*). Les courbes du 19 sont à peu près régulières; mais, le 20, survient une nouvelle perturbation dont la phase la plus importante se produit entre 18^h et 19^h; les mouvements de D et de H sont de même ordre, sans être simultanés; la déclinaison diminue de 23' de 18^h à 18^h 24^m, pour augmenter ensuite de 26' jusqu'à 18^h 54^m. Le mouvement de baisse de H commence à se manifester à 17^h 54^m, et se continue jusqu'à 18^h 12^m, moment du minimum; la composante horizontale augmente alors très rapidement, et atteint sa valeur maximum à 18^h 30^m; ce mouvement se traduit par une hausse de 0,0016 (voir *Pl. B. X, fig. 1*). Les variations entre le 21 et le 30 ne présentent aucune particularité à retenir, sinon que celles du 28 sont absolument régulières.

La variation diurne est de 10' 8 pour la déclinaison, 0,00040 pour la composante horizontale, 0,00023 pour la composante verticale. On compte 65 observations horaires troublées de D, et 142 de H.

En 16 jours d'observation, on a suivi 10 taches ou groupes de taches solaires.

Après une période de ciel couvert, qui s'est prolongée du 10 au 15, on a observé le 16, vers le centre du Soleil, une immense trainée de taches, qui est restée visible à l'œil nu jusqu'au 19. Ce groupe est le plus important de toute l'année 1896.

Un tremblement de terre a été ressenti le 2 septembre au soir dans les départements de la Somme, du Pas-de-Calais et du Nord, et sur une partie de la Belgique; le phénomène a été sans action appréciable sur notre magnétographe.

Pendant les nuits des 17 et 18 septembre, des aurores boréales ont été vues en Angleterre.

Octobre. — On remarque un peu d'agitation sur les courbes du 1^{er}, entre 18^h et 21^h, puis les phénomènes sont à peu près réguliers jusqu'au 7. Une nouvelle série de perturbations survient ensuite; elle commence à se manifester dans la nuit du 8 au 9, se développe peu à peu le 9 et le 10, et atteint son maximum d'intensité le 11 au soir; à 15^h 30^m, D et H subissent à la fois un mouvement de diminution, mais le minimum se produit à 15^h 45^m pour H et à 16^h seulement

pour D; les oscillations de plus grande amplitude se produisent entre 19^h et 22^h; elles sont principalement accentuées au bifilaire (voir *Pl. B.X, fig. 2*).

La perturbation continue le 13 sans beaucoup diminuer d'intensité, et les écarts accidentels sont encore très accusés entre 12^h et 20^h (voir *Pl. B.XI, fig. 1*). Les écarts extrêmes des différents éléments pendant ces deux jours sont : le 12, $D = 27'$, $H = 0,0023$, $Z = 0,0005$; le 13, $D = 32'$, $H = 0,0016$, $Z = 0,0008$. L'agitation faiblit peu à peu les jours suivants, et les courbes du 17 et du 18 sont régulières. Les aimants sont animés de mouvements vibratoires le 19 de 7^h à 9^h, et sont faiblement agités le 20, de 18^h à 21^h. Les variations sont sensiblement régulières ensuite jusqu'à la fin du mois; celles du 26 sont même absolument normales.

La variation diurne s'abaisse, en octobre, à 8',2 pour D, 0,00030 pour H, 0,00021 pour Z. On compte 59 observations horaires troublées de la déclinaison, et 80 de la composante horizontale.

Six taches ou groupes de taches solaires ont été suivis en 14 jours.

Novembre. — Aucun trouble de quelque importance ne se montre sur les courbes du 1^{er} au 4, mais une période d'agitation commence le 5 dans l'après-midi; à 23^h 55^m, la déclinaison et la composante horizontale sont assez fortement troublées, et les oscillations sont de sens opposés : D diminue, H augmente. Les deux écarts les plus remarquables de la journée du 6, de 10^h à 13^h et de 20^h à 21^h, sont également de sens opposés pour D et H; à 11^h, H est de 0,0008 au-dessous de la moyenne horaire correspondante. La phase maximum d'agitation se produit le 7 (voir *Pl. B.XI, fig. 2*). A partir de 12^h 20^m, la composante horizontale diminue assez irrégulièrement jusqu'à 16^h 12^m, moment du minimum, remonte rapidement de 0,0013 pour redescendre ensuite, en se maintenant au-dessous de sa valeur normale pendant toute la nuit. Les mouvements du barreau du déclinomètre sont à peu près de même ordre de grandeur, mais de sens opposés, et les points extrêmes des grandes oscillations ne sont pas simultanés; D est en avance sur H. Le trouble est permanent, quoique déjà affaibli, sur les courbes du 8 et du 9, et même on remarque, ce dernier jour, des périodes assez longues de mouvements vibratoires, notamment de 12^h à 18^h. Quelques écarts se montrent encore sur les courbes du 10, puis les variations redeviennent régulières, et le calme magnétique persiste jusqu'à la fin du mois.

La variation diurne est de 4',8 pour la déclinaison, 0,00020 pour la composante horizontale, 0,00014 pour la composante verticale. Les perturbations de ce mois affectent plutôt l'intensité que la direction de la force magnétique; tandis qu'on a relevé seulement 33 observations troublées de la déclinaison, on en rencontre 120 de la composante horizontale.

En 10 jours, on a observé 11 taches ou groupes de taches solaires.

Décembre. — Une faible agitation se montre le 1^{er} de 17^h à 22^h, puis le calme se rétablit, et les courbes du 2 présentent une grande régularité, ainsi que celles du 3 jusqu'à 16^h. Une perturbation se déclare ensuite par une forte baisse de la composante horizontale; la déclinaison est moins affectée à ce moment. A 19^h21^m, mouvement brusque, mais peu accentué, des trois barreaux, principalement de celui du bifilaire. Vers le milieu de la nuit, l'effort de la perturbation se porte sur la déclinaison, qui, à 24^h, est de 15' au-dessous de sa valeur normale (voir *Pl. B.XII, fig. 1*). L'agitation faiblit le 4 pendant les heures de jour, toutefois la composante horizontale est encore très faible de 13^h à 16^h. A partir de 20^h10^m, D varie rapidement jusqu'à 20^h25^m; dans l'intervalle, sa valeur absolue diminue de 33'; l'aimant ne revient que vers 6^h le 5 à sa position moyenne (voir *Pl. B.XII, fig. 2*). L'agitation se calme ensuite peu à peu, et les courbes sont à peu près régulières jusqu'au 12; le 13, de 15^h à 16^h, les barreaux sont animés de mouvements précipités, mais de faible amplitude, puis, après une accalmie relative, qui se prolonge jusque vers 21^h, des oscillations de forme ondulatoire, plus accentuées, surviennent et persistent jusqu'au 14 à 4^h. Des écarts accidentels assez prononcés, dans lesquels les variations de D et de H sont de sens opposés, se produisent encore le 15, entre 18^h et 22^h, puis les courbes reprennent une allure régulière, qu'elles conservent jusqu'au 27. On remarque une certaine agitation dans la nuit du 27 au 28, un déplacement léger, mais brusque, des courbes, le 29 à 17^h15^m, et les variations sont ensuite régulières jusqu'à la fin du mois.

La variation diurne en décembre est seulement de 3',9 pour D, 0,00012 pour H, 0,00010 pour Z. Le nombre des observations horaires troublées n'est que de 29 pour la déclinaison, mais il atteint 82 pour la composante horizontale.

Le Soleil n'a été visible que 6 jours, pendant lesquels on a observé 7 taches ou groupes de taches.

Résumé.

La variation diurne des éléments magnétiques continue de décroître en 1896; nous donnons ci-dessous les valeurs de cette variation pour les huit dernières années.

Variation diurne des éléments magnétiques, de 1889 à 1896.

	1889.	1890.	1891.	1892.	1893.	1894.	1895.	1896.
Déclinaison.....	7',2	7',8	9',2	10',3	11',2	10',6	10',0	9',0
Inclinaison.....	1',1	1',3	1',7	2',3	2',1	2',2	2',0	1',7
Composante horizontale (1) .	20	23	30	39	37	37	34	30
Composante verticale (1)...	18	18	23	25	25	24	22	22
Force totale (1).....	21	22	30	34	34	33	29	28

Les valeurs moyennes des éléments magnétiques en 1896, déduites de l'ensemble des valeurs horaires relevées pendant toute l'année, sont les suivantes :

Valeurs absolues des éléments magnétiques en 1896.

Déclinaison.....	15° 3',9
Inclinaison.....	65° 1',6
Composante horizontale.....	0,19685
Composante verticale.....	0,42264
Force totale.....	0,46623

La comparaison de ces valeurs avec les valeurs correspondantes de 1895 donne la variation séculaire des différents éléments en 1896 :

Variation séculaire des éléments magnétiques, 1895-1896.

Déclinaison.....	- 5',5
Inclinaison.....	- 1',3
Composante horizontale.....	+ 0,00021
Composante verticale.....	+ 0,00001
Force totale.....	+ 0,00009

Perturbations.

Le nombre annuel des perturbations diminue sensiblement pour la déclinaison, mais il reste élevé pour la composante horizontale, un peu supérieur même

(1) Unités du 5^e chiffre C.G.S.

au nombre correspondant de 1895. On remarquera d'ailleurs que le rapport entre les perturbations de la composante horizontale et celles de la déclinaison se tient très élevé depuis l'époque du dernier maximum undécennal.

Les Tableaux suivants ont été dressés, comme ceux des années antérieures, en considérant comme perturbations les valeurs qui s'écartent de la moyenne horaire correspondante de $\pm 3'$ pour la déclinaison, et de $\pm 0,00020$ pour la composante horizontale.

Comparaison de l'état magnétique, de 1889 à 1896.

	Nombre de perturbations.							
	1889.	1890.	1891.	1892.	1893.	1894.	1895.	1896.
Déclinaison.....	340	270	547	949	648	815	749	651
Composante horizontale.....	403	314	943	1851	1200	1556	1222	1239

I. — DISTRIBUTION MENSUELLE DES PERTURBATIONS EN 1896.

Mois.	<i>Déclinaison.</i>			<i>Composante horizontale.</i>		
	Nombre de perturbations			Nombre de perturbations		
	vers l'Ouest.	vers l'Est.	total.	en augmentation.	en diminution.	total.
Janvier.....	20	45	65	50	57	107
Février.....	22	40	62	38	58	96
Mars.....	29	39	68	42	75	117
Avril.....	28	45	73	31	36	67
Mai.....	42	34	76	77	94	171
Juin.....	21	14	35	36	39	75
Juillet.....	23	20	43	54	49	103
Août.....	19	24	43	33	46	79
Septembre.....	35	30	65	52	90	142
Octobre.....	32	27	59	34	46	80
Novembre.....	18	15	33	50	70	120
Décembre.....	10	19	29	14	68	82
Totaux.....	299	352	651	511	728	1239

II. — DISTRIBUTION HORAIRE DES PERTURBATIONS EN 1896.

Heures.	<i>Déclinaison.</i>			<i>Composante horizontale.</i>		
	Nombre de perturbations			Nombre de perturbations		
	vers l'Ouest.	vers l'Est.	total.	en augmentation.	en diminution.	total.
1.....	13	34	47	18	22	40
2.....	7	24	31	13	23	36
3.....	11	15	26	11	20	31
4.....	12	13	25	9	22	31
5.....	13	11	24	12	18	30
6.....	9	12	21	14	25	39
7.....	18	4	22	18	27	45
8.....	16	5	21	22	36	58
9.....	19	5	24	23	36	59
10.....	21	4	25	22	38	60
11.....	19	2	21	34	38	72
12.....	11	2	13	29	42	71
13.....	18	4	22	35	43	78
14.....	17	3	20	39	42	81
15.....	18	3	21	24	38	62
16.....	23	4	27	22	35	57
17.....	15	11	26	21	30	51
18.....	16	12	22	17	37	54
19.....	5	23	28	21	30	51
20.....	4	29	33	22	25	47
21.....	4	32	36	24	24	48
22.....	3	30	33	20	25	45
23.....	5	34	39	22	30	52
24.....	8	36	44	19	22	41
Totaux.....	299	352	651	511	728	1239

Les Tableaux suivants, extraits de nos registres d'observations, sur lesquels figurent les valeurs des éléments calculées pour chaque heure du jour, ont été préparés d'après le cadre adopté pour les années précédentes.

Janvier 1896.

PARC SAINT-MAUR.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (15° +).							COMPOSANTE HORIZONTALE (0,10000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,12000 +).					REMARQUES (1).		
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.		24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	6,8	7,7	6,9	4,5	6,7	5,0	8,7	9,8	13,2	683	667	683	671	677	270	269	273	272	272	Calme.
2....	6,5	10,9	8,5	3,9	7,2	5,2	8,4	10,9	12,0	685	661	674	653	674	271	267	275	273	271	Presque calme.
3....	5,6	9,7	7,6	0,2	5,4	"	"	"	"	668	637	668	663	650	271	264	284	290	277	Perturbation.
4....	7,9	8,2	7,4	1,9	5,2	"	"	"	"	652	640	648	667	649	277	269	287	271	277	Id.
5....	5,6	9,4	7,4	0,4	5,2	"	"	"	"	648	652	655	678	648	275	269	282	273	275	Id.
6....	4,4	8,0	7,0	4,4	3,6	"	"	"	"	656	648	644	654	651	272	269	285	270	274	Id.
7....	6,7	10,5	6,5	3,4	6,5	"	"	"	"	653	662	666	645	653	273	267	272	272	272	Très agitée.
8....	5,0	8,8	5,6	5,6	6,2	"	"	"	"	658	633	662	664	657	267	262	272	269	269	Agitée.
9....	5,7	10,2	10,0	-2,2	6,8	4,2	8,4	"	"	669	649	637	656	651	265	262	283	265	272	Très agitée.
10....	5,6	11,4	6,5	5,4	6,2	5,0	8,4	"	"	659	634	655	658	650	262	265	271	267	267	Id.
11....	6,0	8,5	6,4	5,0	6,2	5,1	8,0	11,1	13,0	667	659	668	655	660	264	263	263	270	266	Agitée.
12....	5,4	7,0	6,4	3,9	5,5	5,2	8,1	"	"	667	643	674	650	662	263	269	262	266	265	Id.
13....	5,0	8,0	9,6	3,9	6,2	"	"	"	"	674	656	634	658	661	262	261	271	264	265	Id.
14....	5,6	9,6	4,4	3,3	6,2	"	"	"	"	676	650	642	660	665	260	254	270	263	264	Id.
15....	6,2	9,3	7,0	3,6	6,4	"	"	"	"	676	667	675	680	672	260	256	265	255	261	Id.
16....	6,5	7,0	7,9	5,0	6,5	4,9	8,6	"	"	680	669	666	686	672	260	253	262	256	259	Id.
17....	7,0	11,3	7,4	5,0	6,8	"	"	"	"	698	664	642	661	663	255	256	275	261	262	Perturbation.
18....	7,0	9,7	5,3	5,3	5,7	"	"	"	"	661	648	655	655	655	260	262	268	259	263	Très agitée.
19....	5,9	10,5	3,9	5,0	6,1	"	"	"	"	667	651	647	650	648	255	256	283	260	263	Perturbation.
20....	7,4	9,7	-0,7	5,3	5,8	"	"	"	"	673	640	637	654	648	263	268	275	259	268	Id.
21....	7,9	9,7	6,0	4,8	6,6	"	"	"	"	668	630	655	663	657	265	268	270	261	266	Agitée.
22....	6,4	8,2	5,6	3,6	6,1	5,1	8,0	"	"	663	646	650	659	656	262	264	273	258	264	Id.
23....	5,1	8,0	5,0	3,9	5,9	"	"	9,8	13,1	663	652	663	662	657	262	254	266	260	261	Peu agitée.
24....	6,4	9,6	5,7	5,1	6,4	4,9	9,4	10,8	13,2	677	652	664	662	662	258	266	263	261	262	Id.
25....	5,7	8,3	7,4	5,6	6,1	3,8	9,2	"	"	671	661	637	656	658	259	251	268	263	262	Id.
26....	6,5	10,0	6,5	-0,2	6,3	5,0	9,2	10,6	13,7	670	649	670	643	663	261	263	261	263	261	Id.
27....	5,0	9,0	8,2	4,4	6,3	4,0	9,2	10,7	13,2	671	633	652	672	659	256	262	268	262	263	Id.
28....	4,4	8,2	5,9	5,4	6,0	4,5	9,0	9,3	13,5	679	655	675	676	671	252	257	259	258	257	Presque calme.
29....	5,4	8,6	6,8	0,4	6,1	3,1	9,0	9,9	14,0	683	681	661	674	683	258	248	254	262	255	Peu agitée.
30....	1,0	10,5	8,2	6,7	5,0	"	"	"	"	690	629	645	688	658	246	258	274	244	260	Perturbation.
31....	7,4	8,0	3,9	0,7	4,4	"	"	"	"	682	656	654	658	665	257	254	273	257	258	Id.
Moy.	5,9	9,1	6,5	3,7	6,1	4,6	8,7	10,2	13,2	671	651	658	660	660	263	261	271	264	266	

(1) Les remarques sont relatives à l'allure des courbes relevées au magnétographe.

Février 1896.

PARC SAINT-MAUR.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (15° +).							COMPOSANTE HORIZONTALE (0,10000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,12000 +).					REMARQUES.		
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.		24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	6,2	9,3	3,1	4,7	4,7	"	"	"	"	667	628	658	651	659	255	258	267	255	260	Perturbation.
2....	7,3	9,3	6,2	2,4	6,1	"	"	"	"	659	634	650	659	652	251	256	272	253	258	Id.
3....	5,4	7,7	-1,0	1,1	5,7	"	"	"	"	671	662	641	660	661	251	251	273	258	258	Id.
4....	5,9	11,2	3,1	-2,3	5,1	"	"	"	"	662	617	622	637	649	251	256	283	257	261	Id.
5....	5,4	9,9	6,8	4,7	6,9	"	"	"	"	665	651	667	666	658	258	254	268	257	261	Très agitée.
6....	5,4	8,6	5,9	4,8	5,7	5,4	8,8	9,6	14,0	667	657	671	671	665	255	258	261	260	258	Peu agitée.
7....	4,5	9,3	5,7	3,9	6,3	"	"	"	"	680	659	672	678	669	253	254	258	254	256	Id.
8....	4,1	8,9	4,7	1,6	6,1	"	"	"	"	676	663	643	654	662	250	252	268	257	258	Agitée.
9....	5,0	10,6	8,3	5,4	6,0	"	"	"	"	664	674	671	689	672	252	240	257	246	252	Id.
10....	5,3	11,4	7,0	0,7	5,9	"	"	"	"	669	670	676	657	670	251	242	257	256	253	Peu agitée.
11....	4,4	9,9	7,0	0,7	6,0	3,6	9,2	"	"	678	658	666	669	662	255	242	258	258	253	Agitée.
12....	5,3	8,9	9,3	4,4	6,6	4,6	9,1	"	"	671	656	651	650	661	252	243	262	262	255	Id.
13....	4,8	8,6	7,7	2,7	4,6	3,7	8,7	"	"	664	665	665	660	669	255	248	259	257	255	Id.
14....	6,2	9,3	1,3	-1,5	5,6	"	"	"	"	667	650	649	666	669	251	250	276	255	258	Perturbation.
15....	5,4	11,6	6,5	6,2	6,0	"	"	"	"	678	675	672	699	672	259	245	270	253	259	Id.
16....	5,7	6,8	6,0	3,1	5,9	"	"	"	"	684	658	669	680	672	259	251	264	254	257	Agitée.
17....	6,8	11,6	7,1	3,7	6,8	3,6	9,3	"	"	680	658	667	661	672	254	253	268	256	258	Id.
18....	5,7	9,3	6,7	3,4	6,2	3,6	9,2	11,1	14,3	690	662	668	684	677	259	253	264	254	259	Peu agitée.
19....	5,7	9,9	7,0	5,6	7,0	4,7	8,4	"	"	661	655	666	677	674	254	256	263	256	259	Id.
20....	5,6	9,9	6,7	5,1	6,8	4,7	8,2	"	"	680	659	677	678	672	256	255	259	258	257	Id.
21....	5,1	11,7	6,5	-0,7	6,0	4,5	8,0	"	"	682	656	673	669	672	259	254	257	254	256	Agitée.
22....	5,1	10,8	5,3	5,6	6,1	4,5	8,3	"	"	672	666	674	676	669	256	248	258	256	255	Peu agitée.
23....	5,7	8,9	8,5	5,4	6,5	4,0	9,1	10,0	13,7	688	663	657	675	674	256	243	266	257	255	Id.
24....	5,3	8,8	6,8	4,4	6,2	3,5	9,2	10,0	13,8	686	667	680	684	680	254	246	254	250	253	Id.
25....	5,0	8,8	7,0	5,0	6,0	4,0	8,5	11,9	13,0	693	684	675	681	683	250	247	261	242	251	Id.
26....	4,1	8,8	8,3	6,2	6,2	2,0	8,8	"	"	693	665	661	689	684	235	229	239	244	238	Agitée.
27....	2,8	8,3	6,0	-0,5	4,7	"	"	"	"	676	651	675	698	662	238	231	253	244	243	Très agitée.
28....	3,8	12,6	7,7	12,8	7,1	"	"	"	"	675	627	632	692	665	242	241	275	230	250	Perturbation.
29....	5,4	12,6	4,1	2,5	6,3	"	"	"	"	673	661	639	655	659	244	234	276	251	250	Id.
Moy.	5,3	9,8	6,0	3,5	6,0	4,0	8,8	10,5	13,8	677	657	663	670	668	252	248	264	253	255	

DATES.	DÉCLINAISON (15°+).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000+).					COMPOSANTE VERTICALE (0,42000+).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	2,1	11,4	5,6	4,4	5,4	"	"	"	"	683	652	671	666	664	239	238	252	248	246	Peu agitée.
2....	4,1	12,3	3,7	3,7	5,8	2,2	8,6	"	"	674	658	667	681	668	246	235	252	242	246	Id.
3....	5,3	11,9	5,7	-2,1	6,0	3,1	7,8	"	"	682	656	668	660	669	245	239	256	240	248	Agitée.
4....	3,7	16,1	8,5	5,7	5,7	"	"	"	"	668	647	631	633	649	246	231	284	236	232	Perturbation.
5....	4,4	12,3	6,2	2,5	4,4	"	"	13,5	12,8	644	634	659	658	644	245	239	294	258	251	Agitée.
6....	3,1	9,1	5,9	4,7	5,3	"	"	"	"	667	652	678	681	666	253	249	252	248	252	Id.
7....	2,7	10,8	6,5	0,1	3,6	"	"	"	"	639	652	662	632	655	240	242	262	251	246	Très agitée.
8....	4,1	8,9	7,1	4,2	5,6	3,0	7,1	10,8	14,0	662	654	664	665	663	252	242	255	257	251	Peu agitée.
9....	2,8	9,3	7,0	3,7	5,3	2,3	8,2	11,0	13,1	673	662	673	666	669	251	245	253	253	252	Id.
10....	3,7	11,4	6,2	2,1	5,6	3,3	7,3	12,6	13,2	684	658	682	658	672	249	241	255	260	253	Id.
11....	4,1	9,9	8,0	5,0	6,1	1,6	8,6	12,1	13,4	683	676	688	689	680	254	249	254	254	255	Id.
12....	0,7	11,1	6,2	5,1	6,2	"	"	"	"	664	657	648	671	663	239	246	279	261	258	Très agitée.
13....	4,1	10,0	6,2	-13,4	4,4	3,4	8,2	"	"	688	666	673	664	672	254	246	260	238	254	Id.
14....	3,4	9,3	7,0	6,0	5,8	"	"	"	"	668	650	669	683	663	254	244	262	256	254	Id.
15....	4,5	8,6	3,9	5,1	5,4	"	"	"	"	668	650	664	684	667	255	245	268	259	256	Id.
16....	5,4	9,3	5,3	5,3	5,6	2,7	9,0	10,7	13,8	679	657	684	687	678	261	248	262	255	258	Peu agitée.
17....	4,5	11,7	5,4	4,5	5,8	1,4	9,0	13,0	13,1	682	657	676	686	677	257	248	260	258	257	Id.
18....	4,2	10,8	5,1	5,0	5,8	1,6	8,6	13,1	13,8	689	677	679	684	681	259	242	260	258	256	Presque calme.
19....	3,9	8,8	5,7	5,3	5,5	0,6	8,3	10,8	13,3	688	667	682	687	680	258	232	252	251	250	Id.
20....	4,1	13,1	10,8	5,3	7,1	1,0	8,8	"	"	696	686	642	677	675	252	232	281	259	255	Agitée.
21....	3,6	8,6	5,3	4,7	5,0	0,0	8,6	10,9	13,5	687	659	681	682	678	258	234	255	254	253	Presque calme.
22....	3,8	10,9	4,8	6,3	5,5	0,0	9,2	"	"	696	685	684	690	689	253	229	256	257	259	Peu agitée.
23....	3,8	11,7	5,4	4,6	5,4	0,6	8,7	11,9	12,9	688	683	682	689	686	253	233	255	255	251	Id.
24....	3,8	9,4	5,5	5,5	5,0	-0,8	8,6	11,8	13,0	692	667	683	710	683	256	235	255	253	253	Id.
25....	2,6	11,5	7,1	1,7	5,0	-0,6	8,0	14,7	13,2	692	670	656	666	675	255	235	274	266	262	Agitée.
26....	0,8	14,7	8,6	0,2	4,1	"	"	"	"	670	670	650	666	662	254	246	285	254	258	Perturbation.
27....	3,3	11,6	5,3	1,2	5,4	"	"	"	"	660	660	637	667	660	253	244	280	252	256	Id.
28....	3,3	13,0	3,9	4,9	5,9	"	"	"	"	659	644	679	687	638	256	237	276	251	258	Id.
29....	5,5	8,5	1,2	4,9	5,6	0,2	8,2	14,6	13,7	668	639	685	679	663	263	243	278	250	258	Très agitée.
30....	3,8	13,6	5,9	3,3	6,2	0,5	8,2	15,3	12,6	675	651	681	695	673	264	239	261	254	257	Peu agitée.
31....	4,9	14,0	6,7	-3,7	5,9	-1,4	8,0	18,0	12,7	694	648	682	711	672	260	235	268	244	258	Très agitée.
Moy.	3,7	11,1	6,0	3,3	5,4	1,2	8,3	12,8	13,3	676	659	670	676	669	253	240	263	253	254	

DATES.	DÉCLINAISON (15°+).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000+).					COMPOSANTE VERTICALE (0,42000+).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	3,1	10,4	6,3	3,1	5,5	0,3	7,4	14,4	13,3	682	668	698	689	679	274	243	274	269	266	Peu agitée.
2....	3,7	10,9	6,1	3,8	6,0	0,6	8,0	13,5	13,0	694	651	681	710	679	272	239	279	267	266	Id.
3....	3,5	8,4	7,2	2,2	5,2	0,2	8,0	13,7	13,0	694	664	674	681	682	269	251	286	271	269	Agitée.
4....	1,1	9,0	3,8	-1,5	4,1	0,7	8,1	"	"	694	661	690	668	682	254	243	275	268	263	Id.
5....	6,9	10,6	3,2	4,6	5,6	"	"	"	"	799	653	679	687	678	257	247	280	271	265	Id.
6....	2,9	10,7	4,6	4,9	5,3	0,0	8,0	13,6	13,2	695	648	690	684	677	271	233	281	274	270	Peu agitée.
7....	3,8	9,6	6,0	4,8	5,4	-0,6	7,9	11,6	13,2	683	666	699	693	685	275	250	272	271	268	Id.
8....	2,9	8,7	7,2	4,9	5,5	"	"	12,2	13,7	697	676	688	699	692	274	240	272	272	265	Id.
9....	3,1	10,6	4,6	4,8	6,3	"	"	"	"	700	651	697	695	689	269	257	278	272	271	Id.
10....	5,1	8,3	6,0	3,5	4,1	-0,1	8,3	9,8	14,0	711	672	720	693	690	271	233	270	266	267	Agitée.
11....	5,4	9,2	6,0	4,6	5,6	0,0	8,0	12,3	13,5	693	656	693	692	686	269	250	270	268	265	Peu agitée.
12....	2,0	7,2	5,5	3,4	4,3	-1,6	7,9	9,5	13,0	689	663	692	709	687	265	250	268	266	263	Id.
13....	2,2	8,0	5,8	4,3	4,5	-1,8	8,5	9,6	13,7	697	674	701	699	699	269	241	268	268	261	Id.
14....	2,8	7,2	5,8	2,0	1,7	-0,5	8,6	11,5	13,7	714	684	703	704	700	269	239	269	264	263	Id.
15....	3,2	9,2	3,7	0,8	4,4	0,6	7,7	12,3	13,0	705	677	698	692	693	267	252	270	266	265	Id.
16....	4,3	10,0	4,9	4,4	5,3	0,6	8,0	12,2	13,6	704	678	703	696	666	266	249	269	266	265	Calme.
17....	3,5	10,9	3,1	4,3	5,3	"	"	"	"	717	644	703	700	695	268	246	275	267	266	Peu agitée.
18....	4,9	10,0	5,7	3,2	5,7	"	"	"	"	693	671	701	699	685	267	242	272	269	264	Id.
19....	2,5	8,4	5,1	3,7	5,3	0,7	8,7	12,2	13,7	700	672	703	702	693	269	244	276	269	266	Presque calme.
20....	2,0	8,4	5,1	3,7	4,6	-0,4	8,5	10,2	13,3	695	672	710	710	698	275	248	273	269	267	Calme.
21....	-1,2	3,0	3,8	-4,7	3,6	"	"	"	"	695	684	697	682	692	268	241	288	273	268	Très agitée.
22....	2,0	12,9	5,8	0,5	4,0	"	"	"	"	701	667	683	676	680	255	243	302	270	265	Perturbation.
23....	-1,5	4,1	4,9	3,8	4,3	"	"	"	"	671	649	680	686	673	267	247	286	276	269	Id.
24....	-1,7	14,1	3,7	-2,3	4,4	"	"	"	"	683	648	675	690	679	269	251	295	269	272	Id.
25....	0,3	10,7	5,1	3,1	3,6	"	"	"	"	674	667	700	684	678	271	257	295	274	274	Id.
26....	1,4	10,9	4,6	4,4	4,3	-2,0	8,0	13,6	14,0	668	658	688	688	677	271	249	284	279	271	Agitée.
27....	-2,8	11,5	4,9	4,8	4,7	-1,7	8,0	13,9	12,6	684	665	691	689	684	281	257	286	278	275	Peu agitée.
28....	0,4	11,0	2,9	2,4	4,0	-1,4	8,0	13,3	13,4	677	665	690	695	681	284	255	293	266	276	Id.
29....	0,4	10,5	3,9	2,8	4,1	-1,0	8,7	12,9	13,2	694	665	692	688	681	267	241	276	268	263	Id.
30....	1,3	7,7	4,8	3,3	3,5	-1,3	8,7	11,3	13,7	697	677	706	704	693	276	245	274	268	267	Presque calme.
Moy.	2,5	10,1	5,2	2,9	4,8	-0,4	8,1	12,2	13,4	694	665	694	693	686	269	247	279	270	267	

Mai 1896.

PARC SAINT-MAUR.

Observations magnétiques.

DATES.	DECLINAISON (15°+).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000+).					COMPOSANTE VERTICALE (0,42000+).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	0,5	7,1	5,9	4,8	3,8	-1,0	8,2	10,1	14,4	693	695	707	707	697	273	238	274	268	265	Presque calme.
2....	1,8	12,1	8,7	-11,5	4,6	"	"	"	"	702	619	638	591	658	271	248	389	281	293	Perturbation.
3....	-0,8	15,2	8,4	-2,9	4,9	"	"	"	"	648	567	652	628	629	258	266	352	292	289	Id.
4....	0,3	7,5	5,1	3,8	3,6	"	"	9,8	13,5	635	636	669	670	649	294	262	280	278	279	Presque calme.
5....	1,4	7,5	5,7	3,8	4,6	0,1	7,4	10,1	14,0	673	656	693	693	676	277	250	271	270	270	Id.
6....	0,5	9,8	6,1	3,1	4,6	-0,5	7,3	11,5	13,6	687	689	700	696	691	272	245	266	268	264	Id.
7....	3,8	11,5	4,8	3,8	5,8	"	"	"	"	691	676	705	695	691	267	248	271	269	265	Peu agitée.
8....	1,4	9,5	4,3	4,6	4,6	"	"	"	"	688	684	700	692	691	268	245	274	268	264	Presque calme.
9....	1,4	8,3	3,1	4,1	4,2	0,0	7,0	8,9	13,0	702	681	707	705	696	265	240	268	265	261	Id.
10....	1,2	8,0	2,9	4,1	4,2	-1,2	8,0	9,9	13,6	697	689	703	691	694	265	248	272	265	264	Id.
11....	1,8	7,4	2,9	3,1	4,5	"	"	"	"	701	690	696	697	696	264	250	284	267	265	Agitée.
12....	7,4	9,2	-0,8	3,4	4,6	"	"	"	"	685	680	710	693	692	268	244	282	267	265	Très agitée.
13....	1,7	9,2	4,8	4,3	4,5	-1,1	8,0	10,7	13,7	686	694	705	696	692	272	237	273	268	265	Peu agitée.
14....	-0,1	10,4	4,1	4,6	4,4	-1,9	7,8	12,2	13,3	697	711	684	709	699	272	240	276	268	265	Id.
15....	3,7	11,0	4,4	4,6	5,4	"	"	12,3	13,7	710	690	690	718	700	275	249	280	269	269	Id.
16....	0,8	9,2	4,8	4,3	4,6	-1,1	7,8	11,8	13,3	701	677	697	708	696	273	236	278	270	269	Id.
17....	0,2	9,2	6,9	-10,7	3,6	-2,2	8,1	11,0	14,0	688	667	714	650	692	274	244	280	231	268	Perturbation.
18....	2,0	10,3	7,4	5,4	5,0	"	"	"	"	668	638	699	701	666	257	253	282	274	263	Id.
19....	6,1	9,3	4,6	4,3	4,9	"	"	"	"	662	667	703	708	677	263	259	290	269	272	Agitée.
20....	-0,1	9,2	4,9	3,8	4,6	"	"	"	"	664	684	715	689	684	274	237	288	270	272	Très agitée.
21....	0,8	9,2	6,3	7,7	4,8	"	"	"	"	675	656	705	689	685	271	255	280	273	269	Agitée.
22....	2,3	9,0	5,2	5,5	4,5	"	"	"	"	683	668	715	704	691	261	259	280	271	268	Id.
23....	-1,6	7,8	4,9	4,4	3,7	"	"	"	"	675	697	711	704	684	274	260	279	271	272	Id.
24....	4,9	9,2	6,0	2,0	5,0	-0,4	8,3	10,9	12,8	710	680	704	648	697	261	254	276	274	268	Id.
25....	-0,0	12,1	4,0	3,5	4,9	"	"	12,5	12,8	683	689	713	697	698	268	259	280	275	270	Id.
26....	-0,4	8,4	3,4	4,9	3,6	-2,0	8,0	9,9	14,1	688	691	710	707	699	274	253	276	273	270	Peu agitée.
27....	0,2	8,3	4,3	2,8	3,9	-1,4	7,8	10,4	14,0	691	678	707	704	699	275	245	279	271	269	Calme.
28....	1,5	7,5	4,6	3,1	4,0	-3,0	8,2	11,3	14,0	701	687	704	706	699	272	247	275	272	267	Id.
29....	1,1	6,1	5,8	3,2	3,9	-1,0	7,8	9,1	13,7	708	698	717	713	708	273	248	268	272	266	Id.
30....	1,4	6,7	6,3	2,3	4,2	-1,0	7,8	10,9	14,0	710	699	718	706	707	276	246	273	270	266	Presque calme.
31....	1,5	7,5	5,8	4,4	4,6	0,2	7,6	9,7	14,2	706	693	711	710	702	271	236	270	271	267	Id.
Moy.	1,5	9,1	5,0	2,9	4,5	-1,1	7,8	10,7	13,7	687	674	700	693	688	270	250	283	271	269	Calme.

- Juin 1896.

PARC SAINT-MAUR.

Observations magnétiques.

DATES.	DECLINAISON (15°+).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000+).					COMPOSANTE VERTICALE (0,42000+).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	1,8	10,1	5,1	3,5	5,0	0,5	8,0	10,9	13,0	708	699	714	709	708	275	256	280	275	273	Calme.
2....	-1,2	7,5	6,1	3,2	3,9	-1,3	7,5	8,3	12,9	704	694	722	712	706	278	256	277	278	273	Id.
3....	-1,7	9,3	4,4	1,4	3,7	-1,7	6,5	9,3	12,0	703	688	715	707	709	280	261	281	280	276	Presque calme.
4....	1,5	6,9	5,8	4,8	4,6	1,5	8,0	6,9	12,1	700	707	700	713	710	283	274	286	285	282	Id.
5....	0,6	9,0	6,0	3,7	4,6	"	"	9,1	12,6	701	664	704	710	702	284	271	282	281	279	Id.
6....	1,4	6,7	5,8	3,5	4,5	0,5	8,9	9,2	13,7	707	683	711	708	703	279	260	281	280	276	Id.
7....	0,3	6,4	6,0	4,4	4,2	-0,1	7,0	7,7	14,0	699	699	718	712	704	282	262	281	280	277	Id.
8....	0,3	7,5	6,1	3,4	5,0	"	"	"	"	714	700	733	702	718	279	256	278	283	273	Peu agitée.
9....	1,7	9,2	8,3	5,4	4,8	"	"	"	"	707	703	721	709	707	279	266	293	283	282	Agitée.
10....	1,7	9,2	4,4	4,6	"	"	"	11,5	14,0	693	681	709	704	697	282	262	293	281	279	Peu agitée.
11....	-0,1	9,3	3,7	5,2	4,4	-1,7	8,1	12,1	13,2	696	684	705	715	698	287	255	290	280	280	Id.
12....	0,2	8,1	4,9	4,3	4,5	-1,1	8,4	9,8	14,0	700	680	734	715	704	287	275	289	281	282	Presque calme.
13....	1,4	8,9	4,9	4,3	4,7	0,0	8,0	9,4	13,3	712	701	719	720	711	285	279	284	282	280	Id.
14....	-1,4	9,0	11,5	3,2	5,0	-2,0	8,0	"	"	707	721	780	693	715	281	233	295	288	279	Perturbation.
15....	-0,1	6,1	4,4	3,5	3,9	-0,5	7,1	9,5	14,5	673	669	702	698	685	291	270	293	285	283	Presque calme.
16....	-1,2	6,0	5,4	-2,3	2,9	"	"	"	"	696	661	712	664	695	289	261	309	289	288	Perturbation.
17....	1,8	7,7	4,4	5,4	4,4	"	"	"	"	667	678	717	706	683	284	267	303	286	284	Agitée.
18....	0,8	8,4	6,2	3,4	4,5	0,2	7,4	11,0	14,0	673	679	709	698	692	285	276	292	286	284	Peu agitée.
19....	1,4	7,2	5,1	3,5	4,0	-0,2	8,5	8,2	14,2	681	666	713	699	697	286	270	285	286	282	Presque calme.
20....	-0,8	6,1	6,0	2,0	3,6	-1,7	7,5	9,5	14,4	697	698	704	700	699	280	275	284	284	280	Id.
21....	1,4	6,7	5,2	1,7	3,4	-0,1	7,6	8,0	14,5	701	694	715	700	702	284	268	286	283	281	Id.
22....	-1,5	6,9	3,4	3,2	3,3	-1,5	6,9	8,3	14,0	696	700	714	710	702	283	261	283	283	279	Id.
23....	-0,1	11,3	4,9	3,1	4,6	-0,1	6,0	11,8	13,0	699	707	714	713	706	285	269	283	283	281	Calme.
24....	-1,5	8,4	4,4	3,2	3,4	-2,0	7,0	10,3	13,4	704	701	715	716	710	288	239	283	285	281	Id.
25....	-0,1	8,7	5,1	3,4	4,4	-0,3	7,0	10,4	14,0	709	715	716	715	711	287	261	288	283	281	Presque calme.
26....	-0,4	6,1	7,8	3,8	4,1	-2,7	8,0	"	"	715	686	745	701	715	289	277	292	285	285	Agitée le soir.
27....	0,2	7,5	5,1	2,5	2,9	-1,3	8,2	8,1	13,0	710	672	717	704	699	280	270	296	287	282	Presque calme.
28....	-2,2	8,2	5,0	0,1	3,1	-2,5	7,1	11,3	13,4	711	687	725	711	709	286	270	294	287	286	Id.
29....	-0,7	9,6	5,9	1,3	4,2	-2,6	6,8	12,1	13,6	708	700	735	712	716	286	264	296	286	283	Agitée.
30....	2,8	8,2	4,7	2,8	4,6	0,5	9,0	9,9	14,0	737	703	738	718	720	286	279	298	287	287	Peu agitée.
Moy.	0,2	8,0	5,5	3,2	4,2	-0,8	7,6	9,7	13,5	701	692	720	707	704	284	266	289	283	281	Calme.

Juillet 1896.

PARC SAINT-MAUR.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (15° +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,20000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	0,5	6,0	4,2	3,2	3,2	-0,5	7,2	8,7	13,6	709	674	709	707	701	283	257	283	280	279	Presque calme.
2....	0,9	6,5	5,2	4,5	4,2	0,7	6,8	8,0	13,2	708	674	716	709	701	282	269	290	279	280	Id.
3....	0,6	7,5	8,9	4,9	4,6	-6,3	8,0	"	"	708	674	730	732	707	279	265	284	282	280	Agitée le soir.
4....	0,0	9,2	5,8	6,4	4,8	"	"	"	"	704	671	711	738	708	273	250	290	275	275	Très agitée.
5....	-1,5	7,2	4,8	4,4	4,0	"	"	"	"	704	636	711	709	696	261	269	293	276	274	Id.
6....	-0,8	10,3	5,4	5,7	4,1	"	"	"	"	689	683	691	708	695	279	261	290	279	276	Agitée.
7....	0,5	6,1	5,4	3,1	3,8	-0,2	7,3	8,4	14,0	682	674	697	707	692	285	255	280	276	276	Peu agitée.
8....	0,6	8,7	4,3	4,9	4,3	0,5	6,8	9,7	12,8	687	684	691	693	688	282	261	285	284	280	Id.
9....	1,2	9,3	3,5	3,1	4,4	0,4	7,4	11,6	13,3	688	680	697	697	690	283	266	281	281	279	Calme.
10....	-0,3	10,0	4,9	3,4	4,4	-1,5	8,0	11,5	13,3	686	693	703	715	694	284	259	285	278	276	Id.
11....	-3,2	10,3	6,1	-4,7	3,9	"	"	"	"	696	690	728	659	698	278	267	294	274	282	Très agitée.
12....	0,8	8,7	6,1	0,2	3,9	"	"	"	"	632	634	694	688	669	270	277	302	276	282	Id.
13....	0,2	6,1	4,4	2,3	3,3	"	"	"	"	665	680	688	684	671	284	265	295	283	280	Agitée.
14....	-2,6	6,1	4,9	0,0	3,1	"	"	11,5	14,0	670	676	687	679	683	284	260	290	282	279	Peu agitée.
15....	-1,2	7,5	4,4	1,8	3,7	"	"	11,7	13,9	676	634	688	690	679	279	275	293	283	282	Id.
16....	-2,6	8,4	1,8	1,7	3,2	-3,4	7,0	12,2	12,9	683	639	700	684	680	287	267	296	283	282	Id.
17....	-0,3	6,7	4,0	2,8	3,3	-1,2	7,0	9,3	13,4	674	688	694	693	685	288	274	287	281	281	Calme.
18....	-1,5	6,0	2,3	2,3	2,7	-1,6	6,9	9,1	13,8	689	688	698	697	693	284	253	287	276	274	Id.
19....	-0,3	6,6	4,3	2,9	3,4	-1,2	7,0	9,6	14,4	685	693	703	697	697	281	262	279	279	275	Id.
20....	-1,5	9,0	4,0	2,8	3,8	-1,5	6,0	11,0	13,0	691	693	704	714	698	280	254	279	277	273	Presque calme.
21....	-1,5	7,5	3,7	2,3	3,1	"	"	8,6	13,0	691	710	694	699	699	280	257	276	280	274	Id.
22....	0,5	6,9	3,7	0,6	3,1	0,0	8,3	9,6	13,7	693	697	694	695	698	281	263	282	283	277	Id.
23....	-0,8	8,1	3,1	-1,8	2,7	"	"	10,1	13,1	693	709	702	718	711	282	263	277	278	275	Perturbation.
24....	-3,8	8,4	3,5	1,4	1,9	"	"	"	"	702	671	698	694	701	278	264	281	274	276	Azitée.
25....	-1,4	10,6	4,6	2,9	3,6	-1,6	6,3	13,6	12,8	679	680	662	690	684	273	248	311	281	278	Id.
26....	0,8	7,5	3,5	1,4	3,2	-2,4	8,0	9,1	13,4	688	670	691	700	687	284	259	286	272	277	Peu agitée.
27....	-1,7	9,0	4,9	2,8	4,2	"	"	"	"	712	667	686	700	694	277	269	294	277	278	Id.
28....	-1,1	8,4	3,7	2,9	3,4	-1,3	6,3	9,2	12,5	693	680	700	698	690	280	264	280	277	276	Presque calme.
29....	0,3	9,2	3,1	3,1	4,1	0,2	7,3	11,5	13,4	706	679	704	707	697	280	265	282	271	276	Id.
30....	2,3	7,5	3,8	2,3	3,5	-0,1	8,0	9,1	13,4	701	679	687	700	694	277	259	288	277	275	Id.
31....	0,0	6,9	4,1	1,7	3,2	-3,0	7,3	9,2	14,0	700	691	701	706	698	282	266	281	275	276	Id.
Moy.	-0,5	7,9	4,5	2,4	3,6	-0,9	7,2	10,1	13,4	690	679	699	700	693	280	263	287	278	278	

Août 1896.

PARC SAINT-MAUR.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (15° +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,20000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	0,2	7,9	6,2	-5,9	3,7	-0,4	7,5	"	"	699	690	694	720	699	276	238	285	257	273	Perturbation.
2....	-0,1	9,1	4,0	1,1	4,3	"	"	"	"	691	656	698	701	677	256	237	292	275	269	Très agitée.
3....	-0,6	10,5	2,4	2,7	3,2	"	"	"	"	690	641	694	692	685	272	259	283	271	270	Id.
4....	2,1	8,8	1,5	3,2	3,5	"	"	"	"	682	678	675	693	685	270	245	271	264	264	Peu agitée.
5....	0,2	7,5	3,2	2,8	3,3	-0,9	7,5	8,0	12,4	690	673	694	700	687	266	247	268	263	261	Presque calme.
6....	-0,4	8,7	2,8	1,7	3,0	-2,5	7,9	10,5	12,8	704	703	711	695	701	264	227	269	268	259	Agitée le soir.
7....	-1,8	9,7	5,5	0,3	2,9	"	"	"	"	612	639	703	733	683	250	248	372	257	257	Très agitée.
8....	-0,1	6,9	1,9	1,2	2,5	"	"	"	"	684	664	689	697	683	268	241	272	267	262	Id.
9....	-2,0	8,7	3,4	1,7	2,9	"	"	9,2	13,0	683	690	708	697	694	272	227	268	268	260	Agitée.
10....	1,5	11,2	0,2	2,8	3,9	"	"	"	"	680	674	699	704	688	260	230	281	266	265	Id.
11....	-2,9	8,7	2,6	2,0	2,9	"	"	10,5	13,2	687	683	697	699	690	271	254	265	262	264	Id.
12....	-0,4	10,4	4,1	2,3	4,0	-1,4	6,7	11,4	13,7	699	685	697	697	691	261	253	274	264	264	Peu agitée.
13....	1,2	8,1	4,6	1,4	3,9	"	"	9,7	14,1	694	687	697	706	695	266	252	270	265	264	Id.
14....	0,8	6,0	4,2	2,8	3,2	-0,2	7,5	8,8	14,2	698	685	706	704	696	268	244	268	266	262	Presque calme.
15....	-0,7	8,9	4,8	1,9	3,2	-3,5	7,2	10,4	13,0	694	690	707	701	695	268	242	266	265	261	Id.
16....	1,2	8,9	3,4	2,6	4,0	-0,1	7,5	10,3	13,1	705	686	704	705	695	268	253	266	266	265	Calme.
17....	1,5	8,7	5,8	0,8	4,0	-0,2	8,2	10,0	13,0	700	694	729	733	708	269	241	258	263	261	Très agitée le soir.
18....	-2,0	7,8	3,1	2,0	2,8	"	"	"	"	696	694	696	694	696	256	249	273	266	260	Agitée.
19....	-0,4	7,4	4,6	2,8	3,4	-1,7	7,0	10,4	13,3	693	687	700	707	695	265	247	275	267	265	Presque calme.
20....	-0,4	7,8	4,1	2,6	3,4	-2,1	7,0	8,4	13,0	700	687	739	720	699	268	246	270	268	265	Agitée.
21....	12,7	10,4	4,8	1,4	6,8	"	"	"	"	648	673	680	681	674	249	274	302	281	274	Perturbation.
22....	-0,6	11,2	2,5	1,5	3,7	"	"	"	"	690	693	692	683	684	255	253	276	273	270	Peu agitée.
23....	-0,3	10,3	2,2	1,2	3,0	-1,5	7,4	10,7	12,7	687	681	686	712	683	275	257	283	269	272	Agitée.
24....	-2,0	11,2	3,4	-2,0	3,6	-2,9	7,0	12,0	12,8	698	686	695	700	693	275	256	281	267	271	Id.
25....	2,0	9,0	3,7	1,7	2,8	0,2	8,0	9,9	13,2	681	672	697	692	684	277	258	283	272	271	Peu agitée.
26....	1,1	8,7	2,9	3,2	3,2	-0,6	7,0	9,1	13,1	685	689	707	703	692	277	256	276	270	270	Presque calme.
27....	0,9	8,7	2,9	2,6	3,5	-0,1	7,7	9,0	13,2	694	702	704	707	700	276	249	273	268	268	Id.
28....	0,0	9,0	2,0	1,2	3,3	-0,4	7,5	11,3	13,8	698	679	703	702	697	271	242	275	267	266	Id.
29....	0,2	9,0	1,2	-2,1	3,3	-1,7	7,5	11,0	13,4	704	692	726	704	705	275	249	270	262	264	Perturbation le soir.
30....	-0,4	7,9	3,0	2,5	3,2	"	"	10,4	13,5	703	660	707	707	697	267	254	270	267	264	Peu agitée.
31....	-0,1	9,2	3,5	4,1	3,7	-1,1	7,5	10,1	14,0	695	686	711	723	699	271	247	267	263	263	Id.
Moy.	0,3	8,9	3,4	1,6	3,5	-1,2	7,4	10,1	13,3	690	680	701	704	692	268	250	274	267	265	

Septembre 1896.

PARC SAINT-MAUR.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (15° +).							COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,42000 +).					REMARQUES.		
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.		24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	1,1	7,7	3,2	2,6	3,4	0,9	8,0	8,3	12,5	690	697	700	707	701	273	256	273	269	269	Presque calme.
2....	0,5	7,5	2,8	-0,4	3,4	0,4	6,6	8,6	13,0	707	707	710	697	705	274	261	271	261	268	Peu agitée.
3....	-0,4	9,0	6,0	-1,8	4,1	-0,6	6,6	"	"	689	679	691	743	705	266	266	271	264	267	Agitée.
4....	-0,3	9,3	4,6	2,9	3,8	"	"	"	"	699	704	696	709	700	262	249	272	273	265	Peu agitée.
5....	-0,1	9,7	1,4	2,6	3,0	"	"	10,9	13,2	698	711	705	702	698	268	250	278	271	266	Id.
6....	0,8	10,4	1,1	1,5	3,7	-1,6	7,3	"	"	702	712	699	705	698	271	250	280	270	270	Agitée.
7....	-0,3	10,0	2,9	2,8	3,2	-1,7	7,0	"	"	697	693	707	705	697	273	269	270	270	270	Peu agitée.
8....	-1,1	10,1	2,2	1,7	2,9	-2,0	8,0	10,6	12,6	695	697	714	704	700	273	253	264	272	267	Presque calme.
9....	-0,9	9,1	1,4	-1,1	1,8	-3,5	7,8	9,3	12,5	697	687	703	706	698	277	255	267	268	268	Id.
10....	-2,7	8,0	0,7	0,4	1,0	-4,5	8,2	9,3	13,0	697	674	697	708	696	274	249	273	265	266	Id.
11....	-2,4	9,6	2,5	0,5	1,9	-4,7	7,5	9,9	12,8	701	693	699	721	701	271	237	270	264	263	Id.
12....	-0,4	7,4	2,2	-2,7	2,2	-1,9	8,0	8,0	13,0	711	692	695	698	704	266	246	270	264	262	Peu agitée.
13....	2,7	8,5	3,1	0,2	2,2	-1,1	8,7	9,7	13,0	715	690	702	716	701	258	246	264	256	259	Id.
14....	-0,4	7,1	4,1	-0,5	2,6	-1,6	7,7	9,6	13,3	695	686	709	720	697	267	250	263	260	260	Id.
15....	0,3	8,3	3,6	-2,4	2,2	"	"	8,5	13,0	699	690	704	700	699	263	246	262	261	258	Id.
16....	-1,4	6,7	3,3	1,9	1,7	"	"	"	"	694	673	677	698	684	260	252	283	270	265	Id.
17....	0,4	6,4	1,0	1,3	1,5	-1,8	8,0	8,3	13,4	697	662	695	700	687	267	237	269	266	264	Agitée.
18....	4,4	15,1	1,3	1,0	4,3	"	"	"	"	684	570	648	663	649	256	267	309	275	278	Perturbation.
19....	0,2	6,5	2,2	1,9	2,1	-2,5	8,0	8,8	13,0	658	634	678	686	660	278	253	272	272	270	Peu agitée.
20....	5,4	9,0	-2,3	-2,7	2,6	0,1	8,4	"	"	682	631	657	630	659	263	258	312	268	276	Perturbation.
21....	0,5	7,3	3,6	0,4	2,3	-1,0	8,7	8,6	13,4	666	652	676	680	667	280	257	276	270	273	Peu agitée.
22....	0,5	5,9	3,3	0,4	2,1	-1,5	7,7	8,2	13,2	683	649	692	692	675	268	259	275	270	269	Id.
23....	0,7	6,5	2,6	1,8	2,8	"	"	"	"	697	656	685	706	687	270	257	272	266	267	Id.
24....	0,8	6,5	2,5	0,7	2,0	"	"	"	"	704	678	657	690	687	268	257	287	272	271	Id.
25....	1,6	6,7	0,7	-0,2	2,1	-1,2	8,1	7,4	13,2	697	686	682	698	690	272	254	264	263	264	Id.
26....	0,8	7,1	2,4	0,1	2,1	-3,1	8,4	9,1	13,0	705	678	705	701	696	266	249	267	264	262	Id.
27....	1,9	8,3	1,9	1,6	3,0	-2,4	8,7	11,1	13,0	716	675	700	703	695	268	252	269	263	266	Presque calme.
28....	1,2	7,1	2,5	1,9	2,6	-2,5	8,7	8,6	13,9	702	678	707	719	698	268	249	262	258	261	Calme.
29....	1,3	8,3	3,9	0,5	2,6	-1,3	8,7	"	"	712	696	671	702	700	259	240	271	259	257	Peu agitée.
30....	1,3	6,7	3,3	1,3	2,5	-1,2	8,1	7,0	12,7	708	690	712	724	701	262	250	271	260	259	Id.
Moy.	0,5	8,2	2,5	0,6	2,6	-1,8	8,0	9,0	13,0	696	677	692	702	691	268	252	273	266	266	

Octobre 1896.

PARC SAINT-MAUR.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (15° +).							COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,42000 +).					REMARQUES.		
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.		24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	-1,5	6,5	5,1	2,0	1,9	"	"	"	"	711	678	688	706	697	258	243	269	258	258	Agitée.
2....	0,6	7,7	1,7	1,7	2,2	"	"	"	"	708	672	699	699	693	260	251	262	261	260	Peu agitée.
3....	1,7	8,8	1,9	0,8	2,6	-1,0	8,4	9,8	12,7	704	683	695	700	691	263	249	262	255	260	Id.
4....	1,4	5,4	2,2	1,1	2,3	-1,2	8,3	6,4	14,1	699	677	702	710	691	261	249	257	255	256	Presque calme.
5....	0,6	6,3	3,4	3,7	2,6	-1,2	7,8	7,2	13,2	703	691	706	719	700	257	248	258	257	255	Id.
6....	0,5	5,8	3,2	2,2	2,4	-1,2	8,2	6,2	13,0	701	706	704	709	703	257	241	258	258	254	Id.
7....	0,6	7,8	3,2	2,2	2,7	-1,1	8,3	8,0	13,0	709	691	707	710	703	257	237	257	256	254	Calme.
8....	1,6	4,9	3,7	0,0	2,1	-0,6	7,8	"	"	713	705	695	711	702	257	244	265	251	257	Agitée.
9....	0,6	7,8	3,7	-5,9	2,7	"	"	"	"	705	686	675	699	694	257	249	278	253	260	Id.
10....	1,9	7,2	1,9	-5,0	1,8	-0,3	7,9	"	"	698	656	688	679	685	260	258	272	254	262	Très agitée.
11....	3,4	6,5	4,2	-0,4	2,8	"	"	"	"	720	664	669	682	684	254	246	278	258	260	Perturbation.
12....	7,2	8,0	-2,7	3,4	3,8	"	"	"	"	682	634	632	697	661	266	265	308	252	278	Id.
13....	4,2	5,1	-2,0	0,6	2,3	"	"	"	"	695	655	700	678	681	256	258	274	259	262	Très agitée.
14....	3,6	6,3	1,4	0,6	2,3	"	"	"	"	711	671	690	690	685	262	259	271	267	267	Agitée.
15....	2,2	6,0	-2,0	1,4	1,6	"	"	"	"	702	678	667	691	683	259	257	272	262	262	Id.
16....	1,9	4,8	1,1	0,6	2,3	"	"	"	"	697	670	665	683	679	261	263	283	264	269	Id.
17....	0,5	6,9	1,1	1,7	2,1	"	"	7,2	12,7	691	664	673	694	689	258	254	270	265	264	Peu agitée.
18....	2,2	6,3	1,9	0,2	2,2	0,2	8,0	6,8	12,6	700	671	687	694	686	265	260	268	263	264	Presque calme.
19....	3,6	6,8	3,1	1,0	3,5	"	"	"	"	684	679	693	690	685	265	250	267	267	264	Peu agitée.
20....	0,5	5,4	0,6	-2,0	1,5	-1,0	8,6	5,8	13,0	696	678	691	693	689	264	256	260	258	262	Id.
21....	1,1	4,9	2,5	1,1	1,6	0,0	8,7	"	"	693	689	697	688	690	260	251	261	258	260	Presque calme.
22....	1,1	5,7	1,7	1,3	2,2	-0,8	9,1	6,3	13,2	708	670	697	696	691	262	247	263	259	260	Id.
23....	1,4	8,0	3,4	0,8	2,9	"	"	9,4	12,6	692	672	698	694	691	258	248	266	262	260	Id.
24....	1,6	7,2	3,7	1,1	2,6	-1,0	8,7	8,3	13,3	699	671	702	705	692	260	250	264	260	259	Id.
25....	1,1	6,5	3,2	1,4	2,6	-0,8	8,8	7,5	13,0	702	680	696	705	696	263	251	261	258	259	Calme.
26....	1,7	6,6	2,6	1,2	2,7	-0,4	8,7	7,9	12,8	707	675	701	700	696	269	242	259	258	257	Id.
27....	1,9	6,9	2,6	1,0	2,5	-1,1	9,2	7,9	12,7	705	693	700	705	698	257	241	257	257	255	Id.
28....	1,7	7,5	2,2	1,4	2,5	-0,4	8,9	7,5	12,9	704	694	704	701	701	258	250	258	258	256	Presque calme.
29....	1,6	6,5	2,9	1,4	2,7	0,7	8,5	8,2	13,7	711	691	713	702	705	259	251	256	258	258	Id.
30....	1,7	7,5	3,7	1,2	3,5	0,1	8,5	9,2	13,5	717	691	686	697	698	258	248	267	259	259	Peu agitée.
31....	1,0	6,0	2,8	1,4	2,3	0,0	8,9	6,8	12,7	692	672	702	699	692	259	257	261	260	260	Presque calme.
Moy.	1,7	6,6	2,2	0,7	2,4	-0,6	8,5	7,6	13,0	702	678	691	698	691	260	251	267	259	260	

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).							COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,42000 +).					REMARQUES.		
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.		24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	0,5	5,4	1,4	1,3	1,8	-0,5	8,8	6,2	13,2	700	683	704	701	696	256	246	253	254	254	Presque calme.
2....	0,7	5,1	1,9	1,6	2,1	0,2	8,7	5,9	13,0	706	697	706	699	701	251	244	252	252	251	Id.
3....	1,4	5,1	1,9	1,3	2,0	-0,5	8,6	6,0	13,0	705	696	706	698	701	252	238	253	254	250	Id.
4....	1,4	5,4	2,2	-0,9	2,1	0,2	8,5	5,4	12,0	707	696	686	686	693	252	253	258	257	256	Peu agitée.
5....	2,0	5,4	2,9	-15,0	0,9	"	"	"	"	698	687	700	710	689	253	244	254	238	253	Très agitée.
6....	3,6	5,7	2,0	0,7	2,9	"	"	"	"	683	638	665	668	665	250	261	268	256	257	Id.
7....	5,4	5,9	2,6	2,3	1,7	"	"	"	"	707	674	610	649	653	247	249	265	260	265	Perturbation.
8....	2,2	8,4	4,5	-0,1	2,6	"	"	"	"	696	613	648	677	658	250	255	278	252	259	Id.
9....	4,7	6,8	3,0	1,0	2,6	"	"	"	"	678	699	664	683	671	254	257	268	257	258	Très agitée.
10....	3,0	4,5	-1,1	-0,1	1,5	"	"	"	"	679	655	683	687	670	257	253	267	254	259	Agitée.
11....	1,8	6,4	1,9	1,3	2,4	0,4	8,8	6,8	12,9	682	655	682	695	675	260	256	260	255	259	Presque calme.
12....	1,8	5,3	1,9	1,6	2,2	0,1	9,2	5,9	12,4	692	673	687	688	685	259	250	258	256	257	Id.
13....	1,3	6,2	0,1	1,6	2,5	1,3	9,0	6,6	12,3	689	670	664	687	682	259	259	266	257	260	Id.
14....	1,3	5,6	1,8	-0,2	2,1	0,3	7,5	5,9	12,8	690	659	662	682	676	258	257	268	258	261	Peu agitée.
15....	1,2	5,9	2,5	0,9	1,7	0,6	8,9	5,9	12,0	693	660	666	678	677	259	251	261	259	257	Id.
16....	1,5	4,3	1,5	0,1	1,8	1,2	8,9	4,4	13,1	695	686	680	680	685	253	230	256	254	255	Id.
17....	0,3	4,4	1,8	0,6	1,7	0,7	8,5	4,6	12,8	689	683	704	687	689	252	248	251	252	251	Id.
18....	-1,4	5,8	1,4	-2,9	1,5	"	"	"	"	687	675	686	673	681	251	253	258	257	253	Agitée.
19....	0,5	4,7	1,5	-1,2	1,9	0,5	8,5	"	"	681	667	678	684	678	255	252	256	252	255	Peu agitée.
20....	0,8	3,7	1,4	-0,9	1,2	0,0	8,5	"	"	691	672	693	686	685	252	249	250	249	250	Id.
21....	0,3	4,9	3,2	0,6	1,5	"	"	"	"	694	685	686	684	687	249	247	256	250	251	Id.
22....	1,1	4,3	1,4	1,2	1,7	0,0	8,7	4,6	13,2	692	678	688	688	685	251	241	251	250	249	Presque calme.
23....	1,1	3,4	1,5	1,2	1,5	-0,3	9,0	3,8	13,2	694	678	690	692	687	251	252	256	252	252	Id.
24....	1,5	4,6	1,7	0,9	1,7	-0,3	8,8	5,0	12,3	698	676	695	693	690	253	252	256	251	254	Calme.
25....	1,4	3,7	2,6	0,3	2,0	0,8	8,8	4,4	13,0	697	693	704	694	696	250	249	249	248	249	Id.
26....	1,7	4,4	2,0	0,5	1,8	0,6	9,0	4,6	13,0	702	698	701	695	698	250	242	250	247	249	Id.
27....	1,8	3,0	3,2	1,7	1,9	0,5	9,0	4,3	12,6	703	697	701	692	698	249	245	251	252	249	Presque calme.
28....	1,2	4,6	2,3	1,1	1,9	0,6	8,7	4,8	12,3	703	691	697	684	693	249	243	249	251	249	Id.
29....	1,7	4,3	1,8	1,2	2,2	1,0	8,9	5,9	12,9	700	696	702	695	697	251	249	250	250	250	Id.
30....	2,0	4,3	2,4	1,1	2,3	1,0	8,8	4,5	13,3	701	703	699	695	700	250	248	253	252	251	Id.
Moy.	1,6	5,1	2,1	0,2	1,9	0,4	8,7	5,2	12,8	693	677	685	687	685	253	249	258	253	254	

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).							COMPOSANTE HORIZONTALE (0,19000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,42000 +).					REMARQUES.		
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.		24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	1,6	5,6	-0,3	-2,2	2,0	0,8	8,6	6,0	13,0	705	697	668	691	696	250	251	256	256	253	Agitée.
2....	1,6	3,9	1,3	1,0	1,6	0,9	8,7	4,2	13,0	696	693	698	695	695	251	248	252	253	252	Presque calme.
3....	1,7	5,4	3,3	-14,8	1,2	0,5	8,9	"	"	706	693	616	629	684	251	250	278	258	257	Très agitée le soir.
4....	-0,4	6,2	2,5	-8,7	-0,2	"	"	"	"	696	660	675	704	649	247	251	272	234	258	Perturbation.
5....	2,3	3,1	1,4	-1,8	1,3	"	"	"	"	673	641	672	670	665	260	260	263	261	261	Agitée.
6....	1,6	2,8	1,1	0,7	1,0	0,4	8,7	4,3	13,0	681	661	657	678	670	257	259	274	261	263	Id.
7....	1,8	4,1	0,3	0,9	1,5	1,0	9,0	4,2	13,0	685	659	675	680	676	263	262	266	260	263	Peu agitée.
8....	1,3	2,7	0,9	0,4	1,3	1,2	9,0	3,2	12,4	685	677	680	682	681	263	263	260	252	261	Calme.
9....	0,6	4,1	1,0	0,7	1,5	"	"	4,4	12,5	692	684	683	686	684	252	259	258	252	255	Presque calme.
10....	1,5	2,9	1,6	-0,2	1,3	1,2	9,0	4,2	13,4	693	681	681	682	685	251	251	258	252	253	Id.
11....	1,9	4,1	1,2	-0,2	1,3	"	"	4,6	13,3	694	682	683	696	688	252	254	259	252	254	Id.
12....	1,2	2,9	1,2	0,9	1,5	0,9	9,0	3,0	13,0	701	692	694	695	694	253	251	253	251	252	Id.
13....	1,9	7,3	3,3	0,4	2,5	"	"	"	"	717	670	686	658	690	249	254	259	274	256	Très agitée.
14....	-2,3	4,2	-0,1	-2,0	-0,8	"	"	"	"	684	669	676	703	675	253	255	263	256	259	Agitée.
15....	0,3	3,5	-1,5	0,4	0,6	"	"	"	"	683	676	661	686	680	255	258	262	252	257	Id.
16....	1,1	4,9	1,2	0,9	1,6	0,2	8,9	5,0	13,2	693	680	687	687	684	252	246	256	255	252	Peu agitée.
17....	1,0	3,4	1,2	0,2	1,4	0,2	9,4	4,2	13,2	691	686	698	691	691	252	245	254	253	252	Id.
18....	1,1	3,8	1,4	0,9	1,5	0,0	8,9	4,1	13,0	697	696	696	696	696	254	251	257	254	254	Presque calme.
19....	1,1	3,1	1,4	0,9	1,6	"	"	3,6	13,3	697	699	700	693	698	254	250	256	255	254	Calme.
20....	0,9	4,0	1,1	0,9	1,6	0,7	8,6	4,3	12,5	702	691	700	696	697	255	246	256	254	254	Id.
21....	1,4	4,4	1,4	1,1	1,7	0,9	9,2	4,9	13,0	701	695	701	699	698	256	249	258	253	255	Id.
22....	1,2	4,4	1,4	0,5	1,8	0,9	9,2	4,7	12,4	702	704	705	700	703	256	248	251	250	251	Id.
23....	0,9	4,6	2,3	-0,5	2,1	1,0	8,6	"	"	704	703	696	691	695	253	250	259	254	253	Presque calme.
24....	1,5	3,1	1,7	-3,4	1,5	0,7	8,9	4,7	13,0	707	695	703	688	697	252	249	256	252	252	Id.
25....	1,7	3,8	2,4	0,0	1,5	-0,1	8,9	4,1	13,0	703	701	700	693	698	253	249	254	254	252	Id.
26....	2,8	2,6	3,1	0,0	1,6	1,3	8,3	"	"	704	706	687	704	700	254	244	257	249	253	Id.
27....	1,8	4,4	2,4	-1,8	1,5	1,4	9,0	"	"	700	703	697	673	697	251	249	257	259	253	Agitée le soir.
28....	1,1	4,3	2,3	0,0	2,0	0,2	8,8	6,1	12,8	694	686	697	686	692	252	253	253	255	253	Agitée le matin.
29....	1,2	3,7	2,9	0,8	1,7	0,6	8,5	4,1	13,0	699	695	692	690	692	253	256	258	252	255	Peu agitée.
30....	1,3	4,8	1,7	0,9	1,8	0,2	8,0	4,9	13,0	695	689	694	695	693	250	251	256	253	253	Presque calme.
31....	0,9	4,1	1,4	0,6	1,6	-0,4	8,7	5,5	13,0	702	686	696	690	693	252	255	255	254	254	Id.
Moy.	1,2	4,1	1,5	-0,7	1,4	0,6	8,8	4,5	13,0	695	685	686	687	688	253	252	259	254	255	

Année 1896. — Résumé.

PARC SAINT-MAUR.

Déclinaison.

HEURES.	ÉCARTS AVEC LA MOYENNE MENSUELLE.													DÉCLINAISON.
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Nov.	Déc.	Moyenne.	
1.....	-2,5	-2,2	-2,5	-1,2	-1,3	-1,1	-1,2	-1,9	-1,6	-1,1	-1,3	-1,7	-1,6	15. 2,2
2.....	-1,6	-1,4	-2,0	-1,2	-1,8	-1,1	-1,6	-2,1	-1,9	-0,9	-0,8	-1,3	-1,5	2,4
3.....	-0,6	-0,9	-1,7	-1,0	-1,7	-1,3	-1,6	-1,5	-1,9	-0,9	-0,4	-0,6	-1,2	2,7
4.....	-0,2	-0,5	-1,6	-1,3	-1,5	-2,0	-2,2	-1,4	-1,8	-0,4	-0,6	0,0	-1,1	2,7
5.....	0,0	-0,6	-1,7	-2,1	-2,3	-2,9	-3,3	-2,2	-1,7	-0,8	-0,2	-0,4	-1,5	2,4
6.....	-0,2	-0,7	-1,7	-2,3	-3,0	-4,0	-4,1	-3,2	-2,1	-0,7	-0,3	-0,2	-1,9	2,0
7.....	-0,2	-0,7	-2,0	-3,9	-3,8	-4,3	-4,2	-4,0	-2,8	-0,8	-0,3	-0,1	-2,3	1,6
8.....	-0,2	-0,9	-3,2	-4,6	-4,4	-4,5	-3,9	-3,7	-3,1	-1,9	-0,4	-0,1	-2,6	1,3
9.....	-0,5	-1,1	-2,9	-4,0	-3,2	-3,6	-2,7	-2,3	-2,5	-1,9	-0,9	-0,3	-3,2	1,7
10.....	+0,7	-0,1	-1,1	-1,7	-0,8	-1,5	-1,1	+0,3	0,0	-0,6	0,0	+0,5	-0,5	3,4
11.....	+2,1	+1,9	+2,1	+1,8	+2,4	+1,2	+1,8	+3,1	+3,3	+2,2	+2,0	+1,7	+2,1	6,0
12.....	+3,0	+3,8	+5,7	+5,3	+4,6	+3,8	+4,3	+5,4	+5,6	+4,2	+3,2	+3,7	+4,3	8,2
13.....	+4,4	+4,9	+7,0	+7,6	+6,1	+5,1	+5,9	+6,2	+6,7	+5,4	+3,4	+3,2	+5,5	9,4
14.....	+3,7	+4,8	+6,7	+7,1	+6,4	+5,6	+6,2	+5,8	+5,8	+4,5	+2,8	+2,5	+5,1	9,0
15.....	+2,1	+4,2	+4,9	+5,6	+4,7	+4,6	+5,1	+4,3	+4,0	+3,0	+1,7	+1,6	+3,8	7,7
16.....	+2,0	+2,8	+2,7	+3,6	+3,6	+3,5	+3,5	+2,5	+2,2	+0,9	+1,1	+1,3	+2,5	6,3
17.....	+0,5	+0,6	+1,0	+2,0	+1,9	+2,4	+1,9	+1,1	+0,9	+0,5	+0,5	+0,9	+1,2	5,0
18.....	+0,4	0,0	+0,6	+0,4	+0,5	+1,3	+0,9	-0,1	-0,1	-0,2	+0,2	+0,1	+0,3	4,2
19.....	-1,0	-0,9	-0,7	-0,9	-0,2	0,0	+0,1	-0,3	-1,0	-0,8	-1,1	-0,5	-0,6	3,3
20.....	-1,6	-1,0	-1,5	-1,7	-1,1	-0,2	+0,1	-0,6	-1,0	-1,3	-1,0	-1,1	-1,0	2,9
21.....	-2,8	-2,3	-1,4	-2,1	-1,6	+0,1	-0,2	-0,8	-1,9	-1,8	-2,1	-1,7	-1,6	2,3
22.....	-2,9	-2,7	-1,8	-1,9	-1,3	-0,2	-1,1	-1,2	-1,6	-1,9	-1,9	-1,9	-1,7	2,2
23.....	-3,4	-3,5	-2,0	-2,0	-1,8	-0,8	-1,1	-1,7	-1,8	-1,8	-1,7	-2,0	-2,0	1,9
24.....	-2,4	-2,5	-2,1	-1,9	-1,6	-1,0	-1,3	-1,9	-2,0	-1,7	-1,7	-2,1	-1,8	2,0
Écart diurne (1).....	5,6	6,5	11,6	12,6	11,8	10,5	11,0	11,3	10,8	8,2	4,8	3,9	9,0	"
Déclinaison (15° +)	6,1	6,0	5,4	4,8	4,5	4,2	3,6	3,5	2,6	2,4	1,9	1,4	"	15. 3,9

(1) Différence entre la moyenne des minima et la moyenne des maxima diurnes réguliers.

Année 1896. — Résumé.

PARC SAINT-MAUR.

Composante horizontale.

HEURES.	ÉCARTS AVEC LA MOYENNE MENSUELLE.													COMPOSANTE horizontale.
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Nov.	Déc.	Moyenne.	
1.....	0	+3	+3	+8	+9	+3	+6	+11	+10	+6	+2	-1	+5	0,19690
2.....	-1	+1	+6	+7	+6	+3	+7	+7	+10	+7	+2	-1	+4	689
3.....	+2	+3	+6	+6	+4	+4	+5	+8	+6	+9	+1	0	+4	689
4.....	+5	+4	+5	+8	+4	+1	+5	+8	+11	+6	+5	+3	+5	690
5.....	+8	+7	+7	+8	+2	+1	+2	+3	+10	+12	+7	+6	+6	691
6.....	+11	+9	+7	+8	-1	-3	-3	-2	+5	+11	+8	+7	+5	689
7.....	+11	+11	+5	+1	-6	-8	-10	-11	-2	+6	+8	+8	+1	686
8.....	+10	+10	-2	-9	-14	-11	-17	-22	-13	-2	+7	+7	-5	686
9.....	0	+2	-11	-20	-17	-15	-22	-28	-26	-11	-2	+3	-12	672
10.....	-6	-10	-17	-25	-21	-17	-24	-29	-27	-18	-7	0	-17	668
11.....	-9	-12	-17	-25	-21	-16	-20	-23	-24	-18	-12	-2	-17	668
12.....	-9	-11	-10	-21	-14	-12	-14	-12	-13	-13	-8	-3	-12	673
13.....	-8	-9	-5	-12	-7	-8	-4	-2	-4	-11	-5	-4	-7	678
14.....	-9	-6	-3	-8	-3	-3	0	+1	0	-8	-6	-3	-4	681
15.....	-4	-5	-3	0	+2	+2	+8	+1	+1	-7	-4	-2	-1	684
16.....	-4	-9	-4	+4	+7	+5	+6	+4	+1	-8	-5	-1	0	684
17.....	-4	-9	-1	+9	+9	+9	+4	+5	-1	-2	-1	-2	+1	686
18.....	-2	-5	+1	+8	+12	+16	+6	+9	+1	0	0	-2	+4	688
19.....	+2	-1	+5	+12	+13	+13	+12	+11	+8	+4	0	0	+7	691
20.....	+1	+8	+6	+8	+13	+14	+13	+12	+8	+7	+1	0	+8	692
21.....	+7	+3	+6	+7	+11	+12	+11	+15	+10	+8	+1	+2	+8	692
22.....	-1	0	+9	+7	+8	+11	+11	+11	+8	+9	+1	-3	+6	691
23.....	-3	+5	+9	+7	+7	+8	+9	+10	+13	+8	0	-3	+6	690
24.....	0	+2	+7	+7	+5	+3	+7	+12	+11	+7	+2	-1	+5	690
Écart diurne.....	20	23	26	37	34	33	37	44	40	30	20	12	30	"
Composante horizontale. (0,19000+)	660	668	669	686	688	704	693	692	691	691	685	682	"	0,19685

HEURES.	ÉCARTS AVEC LA MOYENNE MENSUELLE.												COMPOSANTE verticale.	
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Nov.	Déc.		Moyenne.
1.....	- 3	- 3	- 2	+ 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	0	- 1	- 1	- 1	- 1	0,42263
2.....	- 3	- 3	- 3	0	- 1	+ 1	- 1	+ 1	0	- 1	- 1	- 1	- 1	263
3.....	- 3	- 3	- 4	+ 1	- 1	+ 1	- 1	0	0	- 2	- 1	- 2	- 1	263
4.....	- 4	- 2	- 3	- 1	0	+ 3	0	0	0	- 1	- 1	- 2	- 1	263
5.....	- 4	- 3	- 3	0	+ 1	+ 4	+ 2	+ 1	0	- 1	- 1	- 2	0	264
6.....	- 3	- 3	- 1	+ 2	+ 1	+ 3	+ 2	+ 3	+ 2	0	- 1	- 2	0	264
7.....	- 3	- 4	0	+ 4	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	+ 1	- 2	- 1	0	264
8.....	- 4	- 3	0	+ 1	- 2	- 2	0	+ 1	+ 2	+ 2	- 1	- 2	- 1	263
9.....	- 4	- 4	- 4	- 5	- 9	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	- 4	- 4	- 4	260
10.....	- 4	- 6	- 10	- 13	- 14	- 11	- 9	- 11	- 11	- 7	- 7	- 5	- 9	255
11.....	- 4	- 8	- 14	- 18	- 19	- 16	- 14	- 15	- 14	- 10	- 7	- 4	- 12	252
12.....	- 5	- 7	- 14	- 20	- 19	- 15	- 15	- 15	- 14	- 9	- 5	- 3	- 12	252
13.....	- 1	- 3	- 9	- 14	- 13	- 12	- 14	- 10	- 8	- 4	- 1	0	- 7	257
14.....	+ 4	+ 1	- 2	- 6	- 3	- 7	- 7	- 2	- 2	+ 1	+ 5	+ 3	- 1	263
15.....	+ 7	+ 6	+ 5	+ 2	+ 3	0	+ 2	+ 3	+ 3	+ 8	+ 7	+ 5	+ 4	268
16.....	+ 6	+ 10	+ 12	+ 8	+ 8	+ 4	+ 7	+ 7	+ 8	+ 11	+ 7	+ 5	+ 8	272
17.....	+ 6	+ 11	+ 11	+ 10	+ 13	+ 6	+ 9	+ 9	+ 9	+ 8	+ 6	+ 5	+ 9	273
18.....	+ 5	+ 9	+ 9	+ 12	+ 14	+ 8	+ 9	+ 9	+ 7	+ 7	+ 4	+ 4	+ 8	272
19.....	+ 4	+ 8	+ 9	+ 11	+ 13	+ 8	+ 7	+ 8	+ 6	+ 5	+ 3	+ 3	+ 7	271
20.....	+ 4	+ 5	+ 7	+ 9	+ 11	+ 7	+ 6	+ 7	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2	+ 6	270
21.....	+ 1	+ 4	+ 5	+ 7	+ 6	+ 5	+ 4	+ 5	+ 4	+ 2	+ 2	+ 2	+ 4	268
22.....	+ 1	+ 3	+ 4	+ 6	+ 5	+ 4	+ 2	+ 5	+ 3	+ 1	+ 1	+ 2	+ 3	267
23.....	0	0	+ 1	+ 4	+ 4	+ 3	+ 1	+ 3	+ 1	0	0	0	+ 1	266
24.....	- 2	- 2	- 1	+ 3	+ 2	+ 2	0	+ 2	0	- 1	- 1	- 1	0	264
Écart diurne.....	12	19	26	32	33	24	24	24	23	21	14	10	22	"
Composante verticale. (0,42000+)	266	255	254	267	269	281	278	265	266	260	254	255	"	0,42264

HEURES.	ÉCARTS AVEC LA MOYENNE MENSUELLE.												INCLINAISON.	
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Nov.	Déc.		Moyenne.
1.....	-0,1	-0,3	-0,3	-0,5	-0,6	-0,2	-0,3	-0,7	-0,7	-0,4	-0,1	+0,1	-0,3	65,1,2
2.....	-0,1	-0,2	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	-0,5	-0,4	-0,7	-0,5	-0,1	+0,1	-0,3	1,2
3.....	-0,3	-0,3	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,5	-0,4	-0,7	-0,1	0,0	-0,3	1,2
4.....	-0,5	-0,3	-0,4	-0,6	-0,3	0,0	-0,3	-0,5	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,4	1,2
5.....	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,1	+0,1	0,0	-0,2	-0,7	-0,8	-0,5	-0,4	-0,4	1,1
6.....	-0,9	-0,7	-0,5	-0,5	+0,1	+0,3	+0,3	+0,2	-0,3	-0,7	-0,5	-0,5	-0,3	1,3
7.....	-0,9	-0,9	-0,3	0,0	+0,4	+0,6	+0,8	+0,8	+0,3	-0,4	-0,6	-0,5	-0,1	1,5
8.....	-0,8	-0,8	+0,1	+0,6	+0,9	+0,7	+1,2	+1,5	+0,9	+0,2	-0,5	-0,5	+0,3	1,9
9.....	-0,2	-0,3	+0,6	+1,1	+0,9	+0,8	+1,4	+1,7	+1,6	+0,7	0,0	-0,3	+0,7	2,2
10.....	+0,2	+0,5	+0,8	+1,2	+1,0	+0,8	+1,4	+1,6	+1,5	+1,0	+0,3	-0,1	+0,8	2,4
11.....	+0,4	+0,5	+0,7	+1,1	+0,8	+0,6	+0,9	+1,1	+1,2	+0,9	+0,6	+0,1	+0,7	2,3
12.....	+0,4	+0,5	+0,2	+0,7	+0,3	+0,3	+0,5	+0,3	+0,5	+0,6	+0,4	+0,2	+0,4	2,0
13.....	+0,5	+0,5	+0,1	+0,3	+0,1	+0,2	-0,1	-0,2	0,0	+0,6	+0,3	+0,3	+0,2	1,8
14.....	+0,7	+0,4	+0,1	+0,3	+0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	+0,6	+0,6	+0,4	+0,2	1,8
15.....	+0,5	+0,5	+0,4	0,0	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,0	+0,7	+0,5	+0,3	+0,2	1,8
16.....	+0,4	+0,9	+0,6	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	+0,2	+0,9	+0,6	+0,3	+0,3	1,8
17.....	+0,4	+0,9	+0,4	-0,3	-0,2	-0,4	+0,1	+0,1	+0,3	+0,4	+0,3	+0,3	+0,2	1,7
18.....	+0,3	+0,6	+0,2	-0,2	-0,4	-0,8	-0,1	-0,3	+0,2	+0,2	+0,2	+0,3	0,0	1,6
19.....	0,0	+0,3	-0,1	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,3	-0,1	+0,1	+0,2	-0,2	1,4
20.....	0,0	-0,4	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7	-0,6	-0,6	-0,4	-0,3	+0,1	+0,1	-0,3	1,3
21.....	-0,5	-0,1	-0,2	-0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,5	0,0	0,0	-0,4	1,2
22.....	+0,1	+0,1	-0,5	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,6	0,0	+0,3	-0,3	1,3
23.....	+0,2	-0,3	-0,6	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-0,5	0,0	+0,3	-0,3	1,2
24.....	-0,1	-0,2	-0,5	-0,4	-0,3	-0,1	-0,4	-0,7	-0,7	-0,5	-0,1	+0,1	-0,3	1,2
Écart diurne.....	1,6	1,8	1,4	1,8	1,6	1,6	2,0	2,5	2,4	1,8	1,2	0,9	1,7	"
Inclinaison (65° +)	3,3	2,4	2,3	1,6	1,5	0,8	1,4	1,1	1,2	1,0	1,2	1,0	"	65,1,6

OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DE PERPIGNAN,

PENDANT L'ANNÉE 1896,

PAR M. P. COEURDEVACHE,

SOUS LA DIRECTION DE M. LE D^r FINES.

Coordonnées géographiques de l'observatoire de Perpignan.

Longitude..... 0° 32' 45" E
Latitude..... 42° 42' 8" N

Dans les précédents Volumes, nous avons dit que le pavillon magnétique de l'observatoire de Perpignan était construit d'après les mêmes plans que celui de l'observatoire du Parc Saint-Maur, et que nous avons adopté les mêmes instruments ainsi que les mêmes méthodes d'observation et de réduction des mesures magnétiques. Nous avons décrit aussi les améliorations successives apportées dans notre installation, tant pour soulager les observateurs que pour assurer l'exactitude des observations et faciliter leur comparaison.

Rappelons néanmoins que l'heure est marquée automatiquement sur les courbes magnétiques, toutes les trois heures, au moyen d'un régulateur qui fait passer, pendant quelques secondes, un courant électrique dans des bobines disposées à côté de chacun des appareils de variations.

L'angle horaire a été pris deux fois par mois et la marche des chronomètres soigneusement vérifiée chaque fois, afin de corriger les indications marquées par le régulateur sur les courbes. L'heure est toujours donnée en temps moyen local de Perpignan, la journée commençant à minuit.

La moyenne des graduations, faites vers le 10 et le 25 de chaque mois, donne les valeurs suivantes :

Valeurs du millimètre sur les ordonnées des courbes.

Déclinomètre.....	1',50
Bifilaire.....	0,00038 H
Balance magnétique.....	0,00012 Z

La déclinaison a toujours été conclue de huit lectures faites avec chacun des deux barreaux.

Toutes les mesures de la composante horizontale ont été faites en double, et l'on a pris chaque fois la moyenne des deux observations.

Les mesures de l'inclinaison ont toujours été faites avec trois aiguilles, et l'on a inscrit la moyenne des trois déterminations.

L'amplitude de la variation diurne des différents éléments magnétiques a un peu diminué pendant l'année 1896.

Variation diurne des éléments magnétiques en 1896.

Déclinaison.....	9',0
Inclinaison.....	1',4
Composante horizontale.....	0,00021
Composante verticale.....	0,00019
Force totale.....	0,00024

La valeur moyenne des divers éléments magnétiques, déduite des 24 observations horaires pendant chacun des jours de l'année 1896, est la suivante :

Valeurs moyennes des éléments magnétiques en 1896.

Déclinaison.....	13° 55',3
Inclinaison.....	60° 5',9
Composante horizontale.....	0,22398
Composante verticale.....	0,38948
Force totale.....	0,44930

La comparaison des valeurs précédentes avec celles de l'an dernier donne la variation moyenne des divers éléments d'une année à l'autre.

Variation séculaire des éléments magnétiques, 1895-1896.

Déclinaison.....	-5',6
Inclinaison.....	-1',6
Composante horizontale.....	+0,00035
Composante verticale.....	-0,00010
Force totale.....	+0,00010

Les mesures absolues des différents éléments magnétiques faites dans le cou-

OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES.

B.27

rant de 1896 sont relevées ci-dessous; elles ont servi à établir et à vérifier les repères des courbes du magnétographe.

Mesures absolues de la Déclinaison en 1896.

Dates.	Heures.		Déclinaison.	Dates.	Heures.		Déclinaison.
	h	m	°		h	m	°
Janv. 22.....	11.18	à 11.38	13.58,9	Juin 27.....	16.22	à 16.40	13.57,3
» 25.....	11.18	11.36	13.59,0	» 30.....	15.48	16. 5	13.58,7
» 31.....	11.15	11.30	13.58,1	Juill. 23.....	16.30	16.46	13.54,7
Févr. 24.....	11.12	11.35	13.57,8	» 27.....	16.10	16.30	13.59,4
» 25.....	10.42	11. 2	13.58,6	» 29.....	15.20	15.42	13.60,0
» 29.....	11. 6	11.22	13.62,0	Août 25.....	11.24	11.40	13.60,0
Mars 14.....	11.30	11.44	13.60,5	» 27.....	11. 8	11.22	13.60,1
» 16.....	11.18	11.40	13.58,5	» 31.....	11. 8	11.30	13.60,8
» 24.....	11.24	11.40	13.58,3	Sept. 12.....	10.45	11. 0	13.57,2
» 30.....	14.30	14.45	13.64,0	» 22.....	11.16	11.32	13.56,7
Avril 8.....	11.24	11.42	13.58,0	Oct. 6.....	11. 4	11.18	13.55,5
» 17.....	11.18	11.35	13.61,5	» 21.....	14.24	14.45	13.56,5
» 20.....	11.16	11.32	13.58,8	» 24.....	11.14	11.30	13.57,0
» 23.....	11.24	11.38	13.63,8	Nov. 10.....	11.10	11.26	13.54,7
» 30.....	11. 9	11.29	13.58,6	» 23.....	11.15	11.30	13.54,8
Mai 9.....	11.18	11.34	13.58,8	Déc. 24.....	11.18	11.35	13.56,3
» 22.....	15. 0	15.18	13.59,0	» 28.....	8.40	8.58	13.52,5
» 27.....	11.20	11.36	13.58,0	» 29.....	10.44	11. 0	13.57,3
Juin 22.....	15.14	15.32	13.57,2	» 30.....	11.38	11.54	13.56,8

Mesures absolues de la Composante horizontale en 1896.

Dates.	Heures.		Composante horizontale.	Dates.	Heures.		Composante horizontale.
	h	m			h	m	
Janv. 25.....	15.24	à 16.25	0,22392	Juill. 23.....	15.32	à 16.15	0,22415
» 27.....	15.22	16.27	0,22355	» 27.....	14.32	15. 8	0,22423
» 30.....	9.57	11. 3	0,22336	» 29.....	14.32	15.12	0,22410
» 31.....	15.32	16. 8	0,22380	Août 1.....	15.24	15.50	0,22395
Févr. 1.....	9.56	10.42	0,22350	» 25.....	9.52	10.30	0,22384
» 24.....	14.30	15. 8	0,22395	» 25.....	14.30	15. 3	0,22409
» 25.....	9.54	10.31	0,22388	Sept. 22.....	14.22	15. 2	0,22395
Mars 24.....	14.27	15. 7	0,22379	» 23.....	14.12	14.50	0,22377
» 25.....	10.27	11. 2	0,22386	Oct. 5.....	15.30	16.10	0,22408
» 30.....	15.31	16. 5	0,22393	» 6.....	9.54	10.30	0,22409
Avril 2.....	9.35	10.13	0,22360	» 21.....	15.12	15.50	0,22403
» 20.....	10.30	11. 7	0,22394	» 22.....	14. 0	14.42	0,22393
» 27.....	16.22	16.55	0,22400	» 24.....	10.10	10.50	0,22391
» 30.....	10.24	11. 2	0,22414	» 26.....	15.24	16. 1	0,22403
Mai 1.....	10.15	10.54	0,22395	Nov. 19.....	14.22	15. 2	0,22398
» 20.....	8.40	9.23	0,22392	» 23.....	14. 9	14.48	0,22394
» 22.....	14.17	14.52	0,22390	» 26.....	14.35	15.41	0,22423
» 26.....	13.45	14.25	0,22397	Déc. 25.....	9.40	10.43	0,22424
Juin 22.....	14. 0	14.40	0,22415	» 26.....	9.44	10.47	0,22412
» 27.....	15.35	16. 8	0,22427	» 28.....	14.37	15.11	0,22411
» 29.....	14.29	15. 8	0,22430	» 29.....	9.57	10.35	0,22411
» 30.....	14.58	15.38	0,22404				

Mesures absolues de l'Inclinaison en 1896.

Dates.	Heures.		Inclinaison.	Dates.	Heures.		Inclinaison.
	^h ^m	^h ^m			^h ^m	^h ^m	
Janv. 28.....	15.30	à 16.24	60. 7,2	Juill. 27.....	8.20	à 9.15	60. 5,8
» 31.....	9.50	10.47	60. 7,1	» 29.....	16. 0	16.50	60. 5,6
Févr. 24.....	9.30	10.35	60. 6,5	Août 24.....	8.36	9.36	60. 7,1
» 25.....	8.22	9.24	60. 6,4	» 26.....	8.35	9.25	60. 6,6
» 26.....	13.45	14.40	60. 7,3	» 27.....	8.18	9. 6	60. 5,1
» 27.....	8.40	9.36	60. 6,2	» 28.....	8.15	9.12	60. 5,3
Mars 17.....	10.12	11.12	60. 7,7	Sept. 1.....	8. 0	8.45	60. 5,5
» 25.....	8.56	9.56	60. 6,4	» 16.....	9. 4	9.56	60. 5,9
Avril 2.....	10.42	11.52	60. 6,9	» 22.....	10.12	11. 2	60. 5,4
» 8.....	8.24	9.26	60. 6,9	» 23.....	8.40	9.30	60. 5,4
» 17.....	8. 5	9. 0	60. 6,0	» 25.....	8.30	9.30	60. 5,8
» 20.....	8.34	9.36	60. 6,0	» 28.....	14. 0	14.52	60. 5,9
» 28.....	8. 0	8.52	60. 6,7	Oct. 20.....	8.24	9.16	60. 5,7
Mai 20.....	9.50	11. 5	60. 7,3	» 22.....	8.36	9.34	60. 6,2
» 22.....	15.45	16.48	60. 6,2	» 24.....	8.42	9.35	60. 7,4
» 23.....	8.12	9.15	60. 7,4	» 29.....	9.52	10.45	60. 6,7
» 27.....	9.45	10.40	60. 4,9	Nov. 1.....	10.20	11.10	60. 5,5
» 28.....	13.54	14.40	60. 7,0	» 19.....	8.30	9.26	60. 5,8
Juin 16.....	15.30	16.30	60. 5,8	» 29.....	10.18	11.16	60. 5,6
» 17.....	8.48	9.55	60. 5,9	» 30.....	8.40	9.35	60. 4,4
» 19.....	14.12	15.10	60. 5,5	Déc. 2.....	8.35	9.30	60. 6,2
» 22.....	15.42	16.35	60. 6,0	» 8.....	13.50	14.40	60. 5,4
» 27.....	13.56	14.52	60. 5,7	» 14.....	8.42	9.30	60. 5,8
» 29.....	15.30	16.30	60. 5,6	» 30.....	8.20	9.17	60. 5,2
Juill. 17.....	14. 5	15. 0	60. 5,5	» 31.....	8.26	9.22	60. 6,4
» 22.....	14. 0	14.52	60. 5,5				

Janvier 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13' +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0.22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0.38000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	56,6	58,9	57,4	55,9	57,2	55,0	8,7	60,0	13,3	392	375	390	378	384	945	943	948	948	947	Calme.
2....	56,8	61,3	58,0	55,6	57,4	55,4	8,5	61,4	13,3	385	367	378	358	377	936	936	951	943	940	Presque calme.
3....	56,0	59,6	57,8	55,9	56,6	"	"	"	"	374	349	374	314	356	935	925	953	966	941	Perturbation.
4....	58,0	60,4	58,3	55,6	56,6	"	"	62,6	12,8	374	359	355	378	358	938	926	959	954	943	Très agitée.
5....	56,6	60,4	58,6	55,9	56,8	"	"	"	"	353	368	362	376	360	933	929	944	941	937	Id.
6....	55,6	60,1	59,0	56,2	57,2	"	"	"	"	365	357	347	363	358	917	937	964	944	946	Agitée.
7....	58,3	61,9	58,3	55,9	58,3	56,2	8,5	"	"	360	364	373	353	360	944	949	946	942	946	Id.
8....	56,6	61,3	57,4	57,4	58,0	56,8	8,6	"	"	365	346	372	373	365	945	935	941	938	940	Peu agitée.
9....	57,4	61,2	61,2	51,8	58,4	55,6	8,5	"	"	374	350	337	356	352	938	930	949	941	940	Agitée.
10....	57,6	63,4	59,2	57,8	58,4	56,8	8,5	"	"	363	340	356	361	352	937	945	944	939	939	Peu agitée.
11....	58,2	60,4	58,3	56,8	58,2	57,2	8,5	61,2	13,0	365	356	369	359	359	945	930	934	944	941	Peu agitée.
12....	57,4	58,9	56,8	55,2	57,0	"	"	"	"	398	341	376	350	362	941	932	930	936	937	Presque calm.
13....	55,8	59,0	59,6	54,8	56,6	"	"	59,6	13,3	373	355	355	365	360	938	931	947	950	942	Id.
14....	56,4	60,6	56,2	55,2	57,2	54,7	9,3	63,4	13,4	376	347	348	358	363	938	923	944	952	942	Peu agitée.
15....	57,4	60,7	57,7	55,8	57,6	55,8	9,7	"	"	378	363	374	379	371	930	929	955	941	944	Id.
16....	57,7	61,9	58,0	56,2	57,7	55,9	9,0	"	"	381	372	372	391	375	935	932	942	943	936	Id.
17....	57,7	61,9	58,3	56,4	58,3	"	"	"	"	399	364	353	366	369	930	936	953	944	942	Agitée.
18....	57,7	61,8	56,8	57,2	57,4	"	"	"	"	369	353	362	361	362	938	936	951	947	944	Peu agitée.
19....	57,4	62,6	56,0	57,4	57,8	"	"	"	"	378	356	357	355	359	931	926	967	945	941	Agitée.
20....	58,6	59,6	57,8	57,2	57,6	"	"	"	"	379	356	377	363	358	938	937	962	943	945	Très agitée.
21....	58,9	61,6	57,4	56,5	58,0	"	"	61,9	11,8	374	334	365	374	367	938	936	953	947	943	Peu agitée.
22....	57,2	59,4	57,4	55,4	57,2	55,9	9,2	"	"	370	358	358	369	368	935	930	950	945	940	Id.
23....	56,8	59,8	57,2	56,5	57,7	54,2	8,4	61,8	13,7	374	369	383	373	371	937	935	945	943	939	Id.
24....	57,8	61,0	57,4	57,4	58,2	56,5	8,3	62,2	13,0	388	359	382	375	375	936	934	944	940	939	Presque calme.
25....	57,0	59,8	58,9	57,2	57,6	55,4	9,4	61,4	13,7	382	370	346	369	370	937	929	951	948	942	Id.
26....	57,7	60,8	57,7	55,4	57,8	56,6	9,3	61,9	13,6	408	359	389	358	378	944	938	942	941	942	Calme.
27....	57,0	59,2	58,9	56,4	57,6	55,2	9,5	60,8	13,0	385	346	364	377	372	933	923	940	929	935	Peu agitée.
28....	56,6	60,4	57,4	57,4	57,7	56,2	8,5	60,8	13,0	390	370	390	394	386	932	933	941	940	937	Presque calme.
29....	57,2	60,7	58,6	55,6	58,0	55,2	9,2	61,9	13,4	400	394	402	382	399	941	919	947	947	954	Id.
30....	53,8	60,4	58,0	57,4	57,1	"	"	"	"	405	350	378	363	368	924	924	946	938	935	Très agitée.
31....	58,9	61,2	56,6	54,7	57,2	"	"	"	"	387	356	364	364	370	937	930	953	953	940	Id.
Moy.	57,2	60,6	57,8	55,7	57,6	55,8	8,9	61,6	13,2	379	358	366	367	367	937	931	947	944	940	

Février 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13' +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0.22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0.38000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	58,2	59,6	55,9	57,0	56,8	"	"	"	"	371	346	359	360	366	925	916	963	936	938	Agitée.
2....	58,8	60,8	57,6	55,3	57,7	"	"	"	"	371	344	359	370	362	949	940	968	947	948	Très agitée.
3....	57,0	59,5	54,1	53,6	57,2	57,0	9,2	"	"	380	373	358	366	368	936	933	953	944	943	Id.
4....	57,6	62,2	55,6	51,7	57,0	56,2	9,0	"	"	366	332	328	342	353	934	915	978	953	946	Id.
5....	57,4	61,0	58,3	57,1	58,6	57,2	8,8	"	"	372	349	371	369	359	947	940	936	938	948	Agitée.
6....	57,6	59,4	57,4	56,8	57,6	57,2	8,8	60,7	14,0	370	358	378	375	368	939	936	949	942	941	Presque calme.
7....	56,4	61,3	57,4	56,2	58,2	57,0	8,5	62,8	13,6	389	368	381	386	377	941	937	944	938	938	Id.
8....	56,4	60,7	58,0	54,4	58,0	56,8	9,0	63,4	14,6	381	370	358	362	369	939	934	973	960	949	Peu agitée.
9....	57,2	62,2	59,5	57,1	57,8	56,6	7,5	64,6	14,0	371	382	377	394	381	957	930	951	934	947	Id.
10....	57,4	62,6	58,3	54,0	57,7	56,2	8,5	63,1	13,5	375	382	382	368	379	942	931	942	943	939	Id.
11....	56,0	60,8	58,2	53,4	57,7	55,6	9,0	61,4	13,6	389	380	376	385	378	945	944	945	946	938	Presque calme.
12....	56,8	61,0	59,6	56,2	58,0	"	"	63,6	12,7	385	381	364	368	377	943	918	952	939	942	Id.
13....	56,2	60,4	58,6	54,8	56,5	55,3	9,3	62,0	13,2	385	384	378	369	387	955	937	955	947	951	Peu agitée.
14....	57,8	61,6	54,6	53,6	57,2	"	"	"	"	406	363	370	368	378	942	923	951	943	940	Agitée.
15....	57,4	63,4	58,9	57,8	58,2	56,6	8,5	"	"	380	371	377	399	371	946	937	969	956	951	Id.
16....	57,6	57,8	57,4	54,8	57,4	55,6	9,0	62,8	13,6	390	369	376	389	381	939	937	951	944	942	Peu agitée.
17....	57,7	63,4	57,8	55,3	58,0	56,0	9,0	64,3	12,7	391	359	376	394	380	940	946	959	950	948	Presque calme.
18....	57,1	60,1	57,7	55,6	57,4	54,8	9,0	61,9	14,2	394	363	375	391	382	939	933	950	942	943	Peu agitée.
19....	56,2	61,3	58,2	57,4	58,0	54,7	8,3	"	"	401	363	381	386	384	938	943	956	949	947	Presque calme.
20....	57,4	61,6	58,2	57,2	58,4	55,8	8,1	64,3	13,3	389	371	394	393	386	944	934	950	948	944	Calme.
21....	56,8	61,3	57,4	51,6	57,1	55,9	8,0	61,9	12,2	394	374	390	388	388	941	931	952	947	942	Presque calme.
22....	55,9	62,5	57,4	57,2	57,6	55,2	8,3	62,0	13,5	389	375	393	394	386	948	944	948	948	945	Id.
23....	57,4	60,4	59,2	57,2	58,0	55,9	9,0	61,3	13,6	402	391	371	392	394	940	913	937	951	940	Id.
24....	57,1	60,6	57,8	56,6	57,8	54,7	9,0	63,2	13,4	396	388	396	395	395	946	924	955	953	946	Calme.
25....	56,4	60,1	58,8	56,8	57,6	55,4	8,3	62,0	13,0	404	393	386	390	394	930	925	943	924	943	Presque calme.
26....	55,9	59,2	59,0	56,6	57,2	53,4	9,0	64,0	13,7	400	375	396	391	391	950	934	944	943	945	Peu agitée.
27....	54,6	59,4	57,6	53,2	56,5	"	"	"	"	371	361	379	351	364	929	937	949	949	941	Id.
28....	55,9	62,8	59,4	60,8	58,8	"	"	"	"	379	343	347	395	363	933	921	954	947	939	Perturbation.
29....	57,2	64,9	56,2	54,8	58,0	54,4	8,3	"	"	380	369	340	367	366	930	910	961	945	935	Très agitée.
Moy.	56,9	61,1	57,6	55,6	57,6	55,8	8,7	62,7	13,5	385	368	373	379	377	941	930	953	945	943	

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,38000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	55,7	62,2	55,7	55,7	57,0	53,6	8,4	63,2	13,2	394	363	371	381	376	938	932	949	949	943	Peu agitée.
2....	56,2	62,6	55,7	55,8	56,9	56,9	7,6	63,2	13,1	389	370	384	390	382	944	932	959	947	949	Id.
3....	56,2	63,6	57,4	50,0	57,2	54,2	7,5	63,6	12,7	396	362	377	380	381	941	929	956	947	945	Id.
4....	55,0	66,2	59,2	61,8	56,9	"	"	"	"	396	361	352	370	361	941	916	987	971	952	Très agitée.
5....	55,7	63,8	57,6	55,0	56,3	55,2	8,0	64,8	12,8	355	354	370	365	358	953	920	966	929	950	Peu agitée.
6....	55,0	61,7	57,4	57,5	57,2	"	"	"	"	379	359	390	388	376	944	938	948	948	950	Id.
7....	55,7	61,7	57,6	53,0	53,8	"	"	"	"	355	367	374	342	370	944	933	961	944	945	Agitée.
8....	55,7	59,0	57,5	55,2	56,6	55,0	7,4	60,8	14,0	372	384	384	384	381	952	944	953	947	950	Presque calme.
9....	53,6	59,6	57,2	55,1	56,2	53,0	8,5	61,7	13,0	387	390	393	384	388	945	934	953	948	946	Id.
10....	55,1	61,7	56,9	53,6	56,4	"	"	62,6	13,2	403	384	398	376	391	946	926	946	954	945	Id.
11....	55,0	59,9	58,7	56,2	56,9	52,8	8,6	61,7	13,8	397	388	402	408	395	949	934	943	946	946	Id.
12....	53,2	60,6	57,4	55,7	56,9	"	"	"	"	380	367	360	383	377	955	945	976	957	943	Agitée.
13....	54,6	60,8	57,2	44,0	55,8	54,4	8,5	"	"	400	391	384	382	388	948	924	948	940	942	Peu agitée.
14....	55,4	61,0	58,2	57,2	57,4	54,2	7,0	"	"	377	372	388	387	375	945	926	959	922	944	Id.
15....	56,0	60,4	55,7	56,9	56,9	53,8	8,7	63,5	13,7	376	368	377	390	378	950	917	934	921	945	Id.
16....	57,2	60,5	56,6	56,9	57,4	54,2	8,5	62,3	13,7	385	371	393	392	386	950	953	960	938	953	Presque calme.
17....	56,4	63,4	57,4	56,6	57,8	53,2	8,6	64,4	13,2	390	365	391	394	386	951	937	957	955	951	Id.
18....	55,7	62,8	56,6	56,6	57,5	53,2	8,4	64,6	13,7	397	391	398	398	397	953	933	952	953	951	Calme.
19....	55,1	59,9	57,0	56,9	56,9	52,0	8,5	61,7	13,4	401	382	391	391	392	949	922	955	961	947	Id.
20....	55,7	62,2	60,2	56,6	57,8	52,4	8,7	65,3	14,1	408	407	353	391	389	958	922	977	962	951	Peu agitée.
21....	54,6	60,6	57,2	57,2	56,6	50,9	8,5	62,2	13,5	401	384	395	395	395	956	927	953	932	950	Calme.
22....	55,8	62,0	56,6	55,7	57,2	52,0	9,3	65,0	13,0	408	411	395	395	405	950	921	951	949	945	Peu agitée.
23....	55,8	61,1	56,6	56,2	56,6	51,6	8,5	62,2	13,0	396	393	393	404	395	943	927	948	920	944	Presque calme.
24....	54,8	60,0	57,0	56,3	56,3	50,0	8,7	62,0	13,0	406	393	401	426	400	921	919	922	922	946	Calme.
25....	54,2	61,7	58,0	53,3	56,2	50,9	8,1	64,7	13,2	407	397	374	374	392	950	930	965	965	950	Peu agitée.
26....	54,5	61,7	59,2	52,7	55,4	"	"	"	"	380	396	332	400	378	950	939	974	949	954	Très agitée.
27....	54,2	61,2	57,2	53,4	56,0	"	"	66,2	14,4	372	391	378	398	384	942	929	956	955	944	Id.
28....	54,6	62,6	55,1	56,2	56,3	"	"	"	"	374	379	391	411	380	951	921	968	981	949	Id.
29....	56,6	60,2	53,0	55,4	56,8	51,5	8,3	65,3	14,0	379	364	411	392	380	950	931	966	951	953	Agitée.
30....	55,2	63,8	56,9	55,0	57,2	51,8	8,4	66,2	12,7	378	368	392	399	381	954	928	949	944	944	Peu agitée.
31....	56,4	63,0	57,2	49,7	57,0	50,3	8,2	68,0	12,7	395	361	382	422	379	953	912	950	945	945	Id.
Moy.	55,2	61,8	57,2	55,1	56,8	52,8	8,3	63,8	13,4	387	379	384	390	384	948	929	957	951	947	

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,38000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	55,1	61,1	56,9	55,0	56,6	51,6	8,5	64,8	13,3	383	385	398	389	383	960	930	955	952	951	Presque calme.
2....	54,5	62,4	57,0	54,6	56,4	51,4	9,0	65,4	13,0	392	365	386	405	383	934	924	960	957	949	Id.
3....	54,6	59,4	57,8	53,9	56,4	52,0	8,0	64,1	13,0	384	370	367	375	381	951	925	951	924	946	Peu agitée.
4....	53,4	59,2	56,2	51,0	55,7	52,6	8,5	64,2	14,3	390	370	387	373	381	946	929	954	955	947	Id.
5....	56,6	61,4	56,3	56,2	59,9	"	"	63,3	13,7	402	363	382	383	378	946	933	957	951	949	Id.
6....	54,0	62,2	56,0	56,4	56,6	51,4	8,0	64,7	13,2	391	358	384	382	378	947	938	956	944	948	Presque calme.
7....	55,0	60,2	57,2	56,6	56,6	49,6	8,7	62,6	14,1	379	375	400	398	386	955	930	953	954	948	Calme.
8....	54,8	60,5	58,2	56,6	57,0	"	"	63,4	13,7	400	385	387	398	395	955	930	954	956	948	Presque calme.
9....	56,6	61,6	56,6	56,6	57,6	54,0	7,2	65,0	13,0	394	364	399	400	392	954	946	964	960	956	Peu agitée.
10....	56,2	59,3	56,6	55,0	55,6	51,4	8,5	61,6	12,6	412	385	413	397	397	962	943	956	958	955	Id.
11....	56,4	59,8	56,2	55,8	56,8	51,5	8,5	63,6	13,7	400	371	403	401	395	958	942	961	960	956	Id.
12....	53,4	58,7	56,6	54,8	55,7	50,0	8,0	61,0	13,4	400	379	404	411	398	959	945	958	959	955	Presque calme.
13....	53,4	59,0	56,9	55,8	55,8	49,0	8,5	60,8	14,2	409	395	411	407	403	965	941	954	950	951	Id.
14....	54,5	59,0	57,5	54,6	56,4	51,0	8,6	62,9	14,0	418	398	408	413	401	950	936	948	949	945	Id.
15....	55,4	59,8	55,1	53,6	56,2	52,6	8,0	62,8	13,8	416	394	409	395	400	954	936	956	957	952	Id.
16....	55,7	61,0	55,8	56,2	56,8	52,2	8,0	62,8	13,7	413	391	415	411	405	957	944	958	955	955	Calme.
17....	54,6	62,8	56,0	56,3	56,8	51,2	7,7	63,4	12,6	410	367	406	405	403	954	938	962	960	954	Peu agitée.
18....	56,4	61,7	56,8	55,1	57,0	52,1	9,0	62,6	12,6	401	382	412	404	396	962	945	960	957	955	Id.
19....	54,2	60,2	56,3	56,0	56,6	51,0	8,7	62,9	14,8	409	391	407	404	401	961	948	958	953	956	Presque calme.
20....	54,2	59,0	56,2	55,6	56,2	50,9	8,3	61,2	13,3	401	396	413	413	407	961	937	958	952	955	Id.
21....	51,2	64,4	56,0	49,7	55,7	51,2	8,3	"	"	397	400	398	388	396	951	928	954	954	945	Très agitée.
22....	53,9	63,2	56,2	52,1	53,2	"	"	67,7	13,0	408	397	377	387	391	947	934	955	956	949	Id.
23....	50,4	63,8	55,7	55,0	55,2	"	"	"	"	381	382	383	394	388	949	946	955	956	954	Agitée.
24....	50,4	64,0	56,0	51,6	55,8	48,4	7,6	"	"	394	383	380	397	391	954	936	964	953	954	Id.
25....	52,6	60,8	56,2	54,5	55,2	50,3	6,7	62,6	13,0	377	391	395	390	386	953	941	957	947	950	Id.
26....	52,8	62,3	56,0	55,7	55,8	50,4	8,0	64,1	12,7	382	386	395	399	389	944	920	927	957	948	Peu agitée.
27....	53,9	62,6	56,2	56,0	56,0	49,4	7,4	64,7	12,6	392	386	396	396	393	960	919	951	955	948	Presque calme.
28....	52,0	62,4	54,5	53,9	55,6	50,2	8,0	64,1	12,8	389	395	395	397	396	958	914	964	972	953	Id.
29....	52,4	63,6	56,2	55,7	56,2	50,2	9,0	64,2	13,0	404	394	402	398	396	972	936	961	958	958	Id.
30....	54,2	60,5	56,9	56,0	56,3	49,4	8,2	62,6	13,7	408	401	413	411	403	962	931	966	970	954	Calme.
Moy.	54,1	61,2	56,4	54,9	56,2	51,0	8,2	63,5	13,4	398	383	398	397	393	955	934	957	954	950	

Mai 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13°+).					COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000+).					COMPOSANTE VERTICALE (0,38300+).					REMARQUES.				
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.		12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	53,2	50,3	57,2	56,3	56,0	50,6	8,0	62,3	14,0	406	417	410	408	406	953	921	953	953	943	Presque calme.
2....	53,4	63,2	58,1	44,4	56,2	49,6	8,0	"	"	408	338	293	323	360	938	912	1028	980	957	Perturbation.
3....	51,4	63,8	57,6	50,9	56,3	"	"	"	"	354	283	333	335	336	945	916	1016	963	929	Id.
4....	51,6	59,0	56,2	55,7	55,4	51,5	6,3	61,0	13,5	340	359	379	379	362	927	925	917	944	945	Presque calme.
5....	53,0	60,0	56,9	55,8	56,4	51,4	7,5	61,7	14,0	379	378	399	395	383	948	914	941	943	940	Calme.
6....	52,7	60,8	57,2	55,0	56,4	51,6	7,3	63,8	13,7	391	403	404	395	396	932	923	941	941	940	Presque calme.
7....	55,1	61,7	56,6	55,7	57,2	"	"	63,2	13,3	393	399	394	399	394	944	923	954	954	945	Id.
8....	52,8	60,5	55,8	56,4	56,2	51,4	7,2	61,4	11,4	406	412	406	401	403	947	928	954	948	944	Calme.
9....	53,6	59,6	55,1	55,8	55,8	51,6	8,4	60,0	12,7	407	409	415	403	406	941	922	950	952	941	Id.
10....	53,2	59,0	54,6	55,7	55,7	50,0	8,0	60,8	13,4	397	405	411	404	404	949	936	957	955	950	Presque calme.
11....	53,6	58,6	55,4	55,1	56,0	50,3	8,8	61,7	14,0	414	413	404	415	411	954	935	961	961	949	Peu agitée.
12....	57,6	60,2	52,7	55,1	56,0	51,4	8,5	64,2	14,0	396	412	412	408	409	962	923	956	962	954	Agitée.
13....	53,0	60,0	55,8	55,7	56,2	50,8	8,1	61,8	13,3	403	427	416	410	411	961	927	954	949	949	Presque calme.
14....	51,6	61,6	56,0	56,4	55,8	48,5	7,8	62,8	13,6	415	432	401	416	414	956	938	953	944	947	Id.
15....	55,1	61,8	55,7	55,8	56,8	53,2	8,2	62,4	13,5	413	412	403	428	412	955	930	951	944	947	Id.
16....	52,7	59,8	56,2	55,6	55,8	50,4	8,0	62,9	13,6	414	402	407	417	409	954	926	942	940	940	Id.
17....	52,8	60,2	58,8	45,6	55,4	49,6	8,1	62,0	14,0	403	396	403	380	407	952	918	943	939	952	Peu agitée.
18....	53,0	61,7	57,6	56,0	56,4	"	"	"	"	381	362	407	402	382	937	923	951	947	939	Agitée.
19....	56,0	60,5	56,6	55,8	56,3	"	"	"	"	377	392	399	415	390	942	934	961	948	945	Id.
20....	51,5	59,4	56,4	55,7	56,0	"	"	"	"	380	402	417	401	394	949	931	938	948	947	Très agitée.
21....	52,7	60,0	57,2	57,6	56,2	"	"	"	"	387	380	407	394	396	955	935	958	954	949	Peu agitée.
22....	54,4	60,5	56,8	56,6	56,0	"	"	60,6	12,2	392	385	411	408	398	942	941	933	947	946	Id.
23....	50,0	59,6	55,7	55,7	55,2	49,7	6,5	61,1	15,0	388	381	408	407	391	946	923	948	944	940	Id.
24....	53,8	59,4	57,0	53,6	56,3	52,7	7,0	62,0	12,9	410	391	403	402	402	940	922	945	947	939	Id.
25....	50,3	63,4	55,0	55,0	56,0	"	"	63,4	12,0	394	402	404	402	402	940	929	945	941	943	Presque calme.
26....	51,5	59,6	55,2	56,6	55,1	49,6	8,0	61,2	14,0	397	405	412	410	405	955	927	954	953	946	Calme.
27....	52,2	59,2	55,4	54,2	55,2	50,2	8,0	60,8	13,7	401	399	410	412	408	949	924	954	955	946	Id.
28....	52,4	57,2	55,7	54,2	54,8	48,0	8,2	61,2	14,5	413	407	413	415	410	955	932	957	956	950	Id.
29....	52,1	57,6	56,6	54,4	55,1	50,6	8,0	60,2	13,6	418	414	428	419	419	956	935	947	955	947	Presque calme.
30....	52,1	57,0	56,0	53,6	54,6	49,7	7,8	60,5	14,2	415	415	422	411	414	952	928	947	946	945	Calme.
31....	52,1	57,5	55,7	55,1	55,0	50,8	8,5	59,9	14,6	414	404	416	415	411	950	934	950	950	946	Id.
Moy.	53,0	60,1	56,2	54,7	55,9	50,6	7,8	61,7	13,5	397	394	402	401	398	950	927	956	951	945	

Juin 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13°+).					COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000+).					COMPOSANTE VERTICALE (0,38000+).					REMARQUES.				
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.		12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	52,4	60,2	55,7	55,4	55,6	50,6	7,9	60,6	13,5	418	414	422	418	417	952	935	954	958	950	Calme.
2....	49,1	57,6	57,0	55,1	55,0	49,0	6,6	58,8	14,0	421	416	425	422	419	961	935	957	927	953	Id.
3....	50,0	58,8	55,4	53,2	54,6	49,8	7,2	58,8	12,0	416	413	420	417	420	958	933	949	921	948	Id.
4....	52,7	57,4	56,6	56,0	55,6	52,4	5,8	57,5	14,4	412	421	422	419	417	955	947	929	960	955	Presque calme.
5....	53,6	58,7	56,6	55,0	55,7	"	"	58,8	12,6	414	390	412	419	415	959	935	952	958	954	Id.
6....	52,7	57,2	55,8	54,2	55,1	52,4	7,1	58,4	14,0	416	413	416	419	414	960	940	958	955	954	Calme.
7....	51,2	58,1	57,0	55,4	55,1	50,0	"	58,8	14,0	412	422	425	424	418	959	939	960	961	955	Id.
8....	51,4	57,8	56,4	54,6	55,4	"	"	60,4	14,0	425	429	433	417	430	961	929	960	959	952	Peu agitée.
9....	50,6	59,9	58,4	56,2	55,2	50,2	8,5	64,8	13,3	417	418	420	412	413	962	958	976	958	964	Agitée.
10....	52,7	58,8	55,0	54,6	55,1	"	"	61,7	13,5	399	399	408	412	406	960	942	969	964	960	Peu agitée.
11....	52,9	60,2	54,2	55,4	55,1	49,7	7,6	62,6	13,7	407	405	415	417	411	967	934	950	954	958	Presque calme.
12....	50,6	59,0	55,4	54,6	55,0	49,1	7,4	60,6	14,0	412	398	428	421	412	963	945	963	950	956	Id.
13....	51,5	59,0	56,0	55,4	55,4	49,2	8,0	59,3	12,4	417	415	425	428	419	954	942	959	961	955	Calme.
14....	50,6	59,0	61,7	55,1	56,2	49,7	7,8	"	"	422	426	458	404	423	961	931	969	973	957	Agitée.
15....	51,2	56,6	54,5	54,2	54,5	50,8	7,2	59,0	14,5	389	389	409	414	401	966	942	970	963	958	Presque calme.
16....	49,4	57,5	56,9	56,4	53,6	46,8	8,5	"	"	416	389	426	399	411	965	935	970	976	964	Très agitée.
17....	52,2	58,7	55,1	56,3	55,4	"	"	61,4	14,7	394	407	424	424	407	964	941	974	962	960	Peu agitée.
18....	52,4	59,0	56,6	54,6	55,7	50,4	7,5	61,8	14,4	397	406	419	407	408	960	945	961	957	956	Id.
19....	50,2	57,2	55,7	53,6	53,8	49,0	7,6	58,7	13,0	397	422	429	412	413	966	947	957	962	957	Presque calme.
20....	50,3	56,9	56,6	53,4	54,2	49,0	8,5	59,8	14,3	414	417	415	414	414	964	950	958	955	958	Calme.
21....	51,2	58,6	56,3	53,2	54,5	50,6	7,7	58,7	13,0	406	414	422	413	411	963	952	971	971	958	Id.
22....	50,4	58,0	55,0	55,1	54,6	50,0	7,0	59,6	14,4	405	423	421	420	413	967	937	967	964	953	Id.
23....	51,4	62,2	56,2	55,1	56,0	51,4	6,0	64,3	12,2	405	425	422	425	418	966	948	967	958	957	Id.
24....	50,8	58,4	55,2	55,4	54,8	50,2	8,5	60,6	13,4	418	428	422	429	425	964	939	961	961	958	Presque calme.
25....	52,1	59,0	55,7	55,0	55,8	"	"	61,1	13,0	425	431	430	423	425	962	940	963	962	959	Id.
26....	50,9	57,0	58,0	54,5	55,1	49,0	8,2	61,7	14,7	422	401	442	416	422	966	953	962	959	960	Id.
27....	51,2	59,0	56,4	53,6	54,6	50,3	8,0	60,2	14,0	416	386	421	412	406	965	947	965	958	956	Peu agitée.
28....	50,0	58,7	56,2	54,5	54,8	49,6	7,2	61,7	14,0	420	408	433	418	417	963	949	967	955	960	Calme.
29....	51,4	57,6	56,2	52,1	55,2	50,0	7,0	62,8	14,3	415	417	430	443	422	961	944	924	952	953	Peu agitée.
30....	53,2	57,6	54,6	54,2	54,6	50,8	9,0	59,4	13,0	436	413	437	426	424	956	947	960	954	956	Id.
Moy.	51,3	58,5	56,2	54,5	55,0	50,0	7,6	60,4	13,7	413	412	424	418	416	961	942	962	960	956	

Juillet 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,28000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	50,8	56,0	55,4	54,2	53,9	50,0	9,0	58,8	14,0	414	405	414	412	409	965	948	964	960	960	Presque calme.
2....	51,6	57,2	55,8	54,8	54,8	51,0	7,2	58,1	14,5	412	394	415	415	409	959	940	959	954	953	Calme.
3....	51,2	56,9	57,5	54,5	54,5	56,0	8,0	59,4	15,0	416	390	434	427	413	955	944	956	958	953	Peu agitée.
4....	50,0	58,7	55,4	54,5	54,6	"	"	59,6	13,5	418	397	416	439	414	953	941	960	955	954	Très agitée.
5....	48,2	59,0	55,7	54,4	54,4	46,7	7,0	"	"	416	355	413	421	409	950	943	963	955	954	Agitée.
6....	50,6	59,6	55,4	53,1	54,4	48,2	7,8	60,4	13,5	402	399	397	417	405	954	946	968	965	957	Peu agitée.
7....	51,2	56,0	55,6	53,9	54,0	50,0	7,3	57,5	14,0	398	407	411	421	409	963	937	960	964	956	Presque calme.
8....	51,0	58,6	54,6	54,6	54,6	50,2	6,8	59,9	13,6	406	419	409	408	407	970	945	961	962	960	Peu agitée.
9....	51,5	60,8	55,0	54,2	55,1	50,0	7,8	62,4	13,3	408	401	411	416	407	967	945	968	969	963	Presque calme.
10....	50,9	60,2	56,4	54,4	55,4	50,0	8,0	61,4	13,7	403	423	416	432	416	971	946	969	964	962	Calme.
11....	49,0	61,4	57,2	56,0	54,6	48,5	7,0	63,2	13,7	416	417	426	381	413	965	953	977	972	967	Agitée.
12....	51,0	59,0	56,4	54,6	55,4	"	"	62,9	13,4	375	371	399	430	389	961	960	972	961	963	Id.
13....	51,5	58,0	55,7	53,9	54,8	49,4	6,8	60,2	13,7	384	398	404	400	392	968	953	964	961	960	Id.
14....	49,1	58,4	55,7	53,4	54,5	"	"	62,9	13,6	368	402	417	405	408	968	955	972	963	965	Peu agitée.
15....	49,0	59,0	54,6	54,2	55,0	50,8	7,2	62,9	13,7	405	393	414	413	407	963	952	967	963	960	Presque calme.
16....	48,8	60,0	54,2	53,8	54,6	48,4	7,0	62,2	13,0	410	395	420	409	407	968	954	970	966	961	Id.
17....	51,2	58,7	55,7	54,4	54,8	50,6	7,0	60,5	14,0	403	417	414	416	411	968	949	966	963	961	Calme.
18....	50,9	57,2	53,9	54,0	54,4	50,3	8,0	59,6	13,7	414	420	424	414	418	967	943	960	955	957	Id.
19....	51,2	57,8	55,4	54,5	55,0	50,9	6,8	61,0	13,6	405	434	426	417	417	957	947	952	949	958	Id.
20....	50,3	60,0	55,7	54,3	55,1	50,2	7,3	61,7	13,2	409	430	420	433	419	962	941	956	961	957	Id.
21....	50,9	57,5	55,1	54,2	54,6	50,6	7,0	58,8	14,0	412	411	417	419	422	963	956	956	964	959	Presque calme.
22....	51,8	57,2	55,0	52,7	54,5	52,4	6,7	60,2	13,7	416	456	424	420	422	968	953	961	961	961	Calme.
23....	51,6	58,4	54,6	54,4	54,4	51,4	6,7	60,2	13,0	412	444	427	433	414	962	944	953	960	955	Peu agitée.
24....	48,4	59,2	55,2	53,4	53,8	"	"	61,6	13,0	424	403	412	413	420	958	956	959	959	955	Id.
25....	50,8	62,2	56,8	54,6	55,6	50,2	6,3	64,7	12,7	399	404	399	409	399	952	953	970	960	955	Id.
26....	51,4	59,0	54,8	53,8	54,8	49,4	8,1	60,4	14,0	408	396	409	423	408	959	941	967	961	959	Presque calme.
27....	51,2	60,0	57,2	54,8	55,8	"	"	64,2	14,0	437	397	405	419	416	963	958	973	964	964	Peu agitée.
28....	51,2	60,2	55,4	53,4	55,4	50,9	7,3	61,2	12,6	412	402	421	418	407	963	957	960	960	959	Presque calme.
29....	52,6	60,6	56,6	55,4	55,8	51,5	8,0	63,2	13,4	428	404	426	426	419	965	950	965	955	958	Id.
30....	51,2	58,0	55,0	54,2	55,1	51,5	8,0	59,9	14,3	422	412	413	424	419	958	947	965	958	957	Id.
31....	51,5	57,2	54,8	53,2	54,5	49,6	7,4	59,8	13,7	419	415	423	423	420	960	951	961	954	957	Calme.
Moy.	50,9	58,8	55,5	53,7	54,8	50,1	7,4	61,0	13,6	410	407	415	418	412	962	947	964	960	959	

Août 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,28000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	52,1	59,0	55,2	53,3	55,4	51,0	8,0	61,7	13,6	421	412	407	443	421	956	940	957	972	952	Agitée.
2....	51,5	61,4	53,8	54,2	54,6	50,3	7,8	"	"	416	391	408	415	400	943	935	967	955	951	Id.
3....	52,7	61,7	53,9	54,2	55,0	50,9	6,0	61,8	12,2	410	397	409	413	405	954	944	964	959	957	Peu agitée.
4....	53,0	59,3	52,8	51,2	54,6	51,0	7,9	60,6	12,3	405	407	398	411	405	959	949	964	962	960	Id.
5....	51,6	59,0	54,5	54,5	54,6	50,2	7,5	59,3	12,4	407	405	412	418	409	962	948	962	959	956	Calme.
6....	51,2	58,7	53,6	52,7	54,2	"	"	60,6	13,0	419	411	418	410	420	958	929	954	962	951	Peu agitée.
7....	48,6	60,4	56,0	52,0	54,0	"	"	"	"	364	374	416	444	401	948	932	948	942	944	Très agitée.
8....	51,2	57,4	53,2	52,4	53,6	49,6	7,5	61,4	13,4	396	404	401	412	402	940	908	958	951	952	Peu agitée.
9....	49,4	59,6	54,6	53,6	54,2	48,2	7,7	"	"	403	425	418	409	411	944	923	941	944	936	Id.
10....	52,8	61,8	52,0	54,2	55,1	48,5	7,3	62,0	12,5	398	404	412	416	404	945	929	958	950	943	Id.
11....	48,6	59,0	53,6	53,8	54,0	48,5	7,2	60,2	13,0	409	406	416	414	407	954	939	946	945	946	Presque calme.
12....	50,9	61,1	54,5	53,9	54,8	49,7	6,7	62,2	13,0	409	402	409	410	405	944	925	943	939	938	Id.
13....	51,0	58,7	55,4	53,0	54,6	50,9	7,7	59,9	14,0	414	408	418	420	413	943	927	947	945	941	Calme.
14....	51,5	57,5	54,4	53,9	54,0	50,6	8,0	59,3	13,6	417	413	423	422	416	945	929	946	942	941	Id.
15....	50,2	59,2	55,1	53,2	54,0	47,8	7,2	60,5	13,0	412	427	427	421	418	947	931	953	956	947	Id.
16....	51,6	58,8	54,2	53,4	54,6	50,0	7,5	60,0	13,7	417	412	430	426	427	956	949	950	959	954	Id.
17....	52,1	59,0	55,7	52,0	54,4	50,0	8,2	59,2	12,4	418	431	447	445	432	954	937	950	952	949	Presque calme.
18....	49,7	56,8	53,6	52,7	53,2	"	"	58,8	14,0	414	419	405	415	415	939	937	951	943	944	Peu agitée.
19....	50,4	57,6	55,2	53,4	53,9	49,2	7,0	60,0	13,3	412	413	417	427	415	944	934	952	948	945	Presque calme.
20....	50,0	58,4	54,6	53,4	53,9	48,2	7,0	58,4	13,4	418	426	434	441	419	950	937	951	956	948	Peu agitée.
21....	60,5	60,0	55,0	52,1	56,3	"	"	"	"	379	389	389	400	392	944	953	971	962	957	Agitée.
22....	49,4	61,1	53,4	52,8	54,0	48,5	7,0	61,4	12,4	410	424	410	412	404	933	939	956	952	952	Peu agitée.
23....	50,6	59,0	52,2	52,4	53,0	48,0	7,3	59,6	12,4	406	411	403	427	405	936	943	953	960	952	Id.
24....	48,4	59,9	53,4	49,0	53,3	47,3	7,2	60,0	12,1	411	424	416	428	417	930	933	953	945	948	Id.
25....	51,5	60,2	54,6	53,6	53,6	49,0	8,0	60,5	14,0	403	404	411	409	406	951	940	959	954	950	Id.
26....	51,6	59,0	53,9	54,2	54,4	49,8	7,3	60,2	13,4	405	418	417	415	410	959	939	959	957	954	Presque calme.
27....	51,6	60,0	54,2	53,9	54,5	50,9	7,7	60,2	12,1	410	424	417	414	415	951	949	956	954	956	Calme.
28....	51,4	59,9	53,6	53,0	54,5	50,9	7,5	61,6	13,6	412	405	412	411	400	958	950	954	952	951	Id.
29....	51,4	59,3	52,7	50,3	54,2	49,4	7,5	60,6	13,4	418	421	410	413	423	961	940	951	942	949	Peu agitée.
30....	50,9	58,7	53,2	52,7	53,6	47,9	7,3	60,4	13,5	417	388	424	422	403	946	935	950	948	946	Id.
31....	50,4	60,0	54,0	54,5	54,2	49,1	7,5	60,5	12,8	411	413	429	439	418	951	931	952	961	948	Presque calme.
M																				

Septembre 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).							COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,38000 +).					REMARQUES.		
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.		24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	51,2	58,7	54,2	53,9	54,2	50,9	7,7	58,8	12,3	405	414	409	419	413	950	940	953	955	950	Presque calme.
2....	51,2	57,2	53,4	50,3	51,0	51,0	6,5	57,6	12,6	418	425	424	406	418	954	940	947	943	949	
3....	49,6	60,5	57,5	50,2	55,0	"	"	"	"	398	405	411	430	417	943	938	942	944	946	Agitée.
4....	51,8	59,9	55,7	54,2	54,8	"	"	60,4	14,0	410	426	412	423	414	944	935	950	937	944	
5....	50,2	60,5	53,2	53,2	53,9	"	"	61,1	13,2	407	430	417	415	414	949	939	958	955	945	Peu agitée.
6....	51,2	61,1	52,4	52,7	54,4	49,1	7,4	"	"	412	410	417	416	414	949	929	956	945	945	
7....	50,6	60,5	54,2	54,0	51,2	49,2	7,0	61,1	12,7	410	412	414	416	408	943	942	942	944	943	Id.
8....	50,2	60,8	53,6	53,6	53,9	49,6	8,0	61,7	12,7	409	418	431	424	416	949	934	947	944	946	
9....	50,3	61,7	54,6	52,7	54,0	48,0	7,8	61,8	12,5	415	413	423	423	418	950	939	946	949	946	Presque calme.
10....	50,6	62,2	54,2	54,2	54,6	48,6	8,0	63,2	13,2	417	407	414	423	417	952	933	951	951	949	
11....	51,5	61,7	54,5	52,7	54,5	49,2	7,6	61,7	12,0	417	421	417	426	418	947	938	950	943	944	Presque calme.
12....	51,6	58,8	54,4	50,3	51,2	50,3	8,0	60,2	12,3	422	415	408	410	419	949	934	948	949	945	
13....	53,2	59,3	54,2	52,7	53,6	50,0	8,5	61,1	13,0	424	411	412	434	413	944	939	952	949	947	Id.
14....	50,9	58,7	55,4	52,0	54,0	49,4	8,0	60,2	13,2	408	408	421	432	413	955	941	950	949	949	
15....	52,1	59,3	55,0	50,3	53,6	49,8	7,5	60,2	12,2	414	410	421	416	417	947	936	948	944	942	Id.
16....	50,4	58,7	54,5	50,6	53,4	49,1	8,0	58,8	13,7	409	404	397	413	405	946	930	938	951	948	
17....	52,1	58,0	53,0	53,0	53,4	49,7	8,0	60,2	13,2	415	399	407	413	407	946	932	943	947	944	Peu agitée.
18....	55,1	63,5	52,7	52,7	55,1	"	"	"	"	394	395	356	382	369	942	942	972	960	953	
19....	51,2	58,7	53,6	53,9	53,6	49,0	8,4	60,2	12,9	375	370	392	401	381	942	942	941	947	945	Très agitée.
20....	56,3	60,2	49,1	50,6	54,0	51,0	7,7	62,7	13,3	395	374	367	371	375	944	942	974	949	953	
21....	52,1	58,7	55,4	52,7	53,9	50,3	8,7	60,0	13,5	378	375	388	393	381	949	932	941	957	942	Presque calme.
22....	52,7	57,5	55,0	52,7	54,2	50,8	7,7	61,4	13,5	401	378	410	404	394	959	925	943	944	940	
23....	52,1	57,4	54,5	53,2	54,0	51,0	8,9	59,6	14,5	407	377	397	402	399	945	942	949	950	944	Peu agitée.
24....	53,2	58,7	55,1	53,4	54,2	49,7	8,7	59,9	12,7	417	399	375	401	399	955	941	949	948	944	
25....	53,4	58,4	54,4	52,7	54,2	50,9	8,3	58,8	13,0	415	414	402	411	406	945	934	946	946	946	Id.
26....	52,8	59,0	54,5	52,7	54,2	49,0	8,4	60,4	12,5	410	399	410	413	406	949	936	947	943	946	
27....	53,2	59,6	53,4	53,0	54,5	48,8	8,7	61,0	13,0	422	393	410	410	404	945	929	942	942	942	Id.
28....	52,7	58,8	53,8	53,8	54,0	49,1	8,7	59,6	13,0	411	396	418	426	410	952	936	932	952	949	
29....	53,0	59,6	54,6	52,6	54,0	49,8	8,5	61,8	12,7	424	409	385	410	411	953	936	956	949	948	Presque calme.
30....	52,7	59,0	54,8	53,2	54,2	49,7	8,1	59,2	12,5	416	403	420	428	409	948	932	939	939	941	
Moy.	52,0	59,6	54,1	52,7	54,1	49,7	8,0	60,5	13,0	409	401	406	414	406	947	934	950	948	946	

Octobre 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).							COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,38000 +).					REMARQUES.		
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.		24h.	Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	51,2	57,2	56,2	54,2	53,6	"	"	61,2	13,7	413	396	394	417	405	949	932	950	950	946	Agitée.
2....	52,4	59,8	54,2	53,6	54,2	50,0	8,2	60,2	13,2	414	393	407	405	403	947	937	951	951	948	
3....	53,4	60,5	54,2	53,3	54,4	50,6	8,4	61,0	13,2	402	396	407	408	401	946	934	952	946	944	Id.
4....	53,0	57,2	54,2	53,0	54,0	50,2	8,5	58,4	12,8	405	394	414	421	405	945	928	946	947	942	
5....	52,7	58,4	55,0	54,2	54,4	51,0	7,9	58,7	13,2	413	409	414	424	411	943	932	949	950	942	Calme.
6....	52,4	56,1	54,6	53,6	53,8	50,9	8,5	57,4	13,2	409	423	413	414	414	944	933	946	946	944	
7....	52,4	60,2	54,6	53,9	54,4	49,8	8,5	60,2	12,9	417	415	416	416	414	944	927	953	952	944	Id.
8....	52,7	57,2	55,4	52,6	53,8	50,8	7,5	"	"	418	424	404	413	413	940	929	951	945	945	
9....	52,7	58,7	55,7	47,9	54,2	51,6	6,7	63,2	13,0	410	398	383	409	403	936	934	956	944	943	Peu agitée.
10....	53,3	58,1	54,2	48,6	53,6	50,9	8,0	"	"	406	375	399	396	396	940	940	953	947	945	
11....	54,2	58,0	55,7	52,2	54,6	"	"	"	"	423	388	376	392	396	937	931	934	943	941	Perturbation.
12....	57,5	58,8	48,6	54,5	55,1	"	"	"	"	392	352	349	402	371	945	942	976	947	951	
13....	55,7	57,2	50,0	52,7	54,2	52,6	9,1	60,5	14,4	402	371	400	385	387	939	934	949	939	941	Id.
14....	54,5	58,7	53,6	53,0	54,0	51,5	9,2	59,8	12,7	413	386	394	393	391	941	937	941	936	941	
15....	51,0	57,6	51,8	53,2	53,6	50,8	8,7	59,0	13,3	402	388	381	396	390	945	944	952	944	948	Id.
16....	53,2	56,0	53,2	52,7	53,8	51,8	9,0	58,7	13,0	402	385	374	393	389	941	944	958	945	948	
17....	52,6	58,1	52,8	53,4	53,8	51,5	9,4	58,2	12,5	399	385	390	408	394	940	931	950	950	945	Presque calme.
18....	53,2	57,2	53,9	52,7	53,8	51,2	8,0	57,4	12,7	407	387	403	406	399	942	939	951	946	945	
19....	55,1	58,4	54,5	52,7	53,0	"	"	58,6	12,3	391	411	398	403	400	946	955	949	951	946	Id.
20....	52,7	57,0	53,0	50,0	53,2	51,2	8,7	"	"	410	399	408	412	404	949	932	950	946	945	
21....	52,7	56,8	54,0	52,8	53,4	51,0	8,5	56,9	12,8	404	402	411	404	403	944	935	947	944	942	Presque calme.
22....	52,6	57,5	53,9	53,2	53,9	50,8	8,4	58,4	13,0	407	393	411	407	406	943	930	946	945	944	
23....	53,2	59,3	53,3	52,7	54,4	51,6	8,2	60,4	12,5	410	392	408	405	403	945	933	950	948	944	Id.
24....	52,8	58,7	55,1	52,8	54,2	50,2	8,5	59,8	13,2	408	392	411	414	404	948	924	945	944	945	
25....	52,6	58,1	54,6	53,2	54,0	50,8	8,3	58,7	13,0	412	397	411	414	409	947	938	950	944	946	Id.
26....	53,0	58,8	54,3	53,3	54,2	50,2	8,6	59,3	12,5	414	406	416	413	411	946	922	948	946	942	
27....	53,2	58,4	53,9	52,7	53,9	49,7	9,0	59,3	12,4	415	415	414	420	415	945	926	951	953	939	Id.
28....	52,7	58,7	53,8	53,3	53,9	50,9	9,0	58,8	12,2	417	410	419	415	416	948	935	955	957	949	
29....	53,0	58,7	54,2	53,4	54,4	52,0	9,0	59,4	13,6	423	404	424	414	417	952	945	953	956	950	Id.
30....	53,2	59,0	55,2	53,6	55,0	51,0	8,4	60,2	13,0	424	411	398	406	409	946	937	959	953	950	
31....	52,7	57,2	54,6	53,4	53,9	51,0	8,5	58,4	12,7	400	385	411	409	402	953	943	951	946	949	Presque calme.
Moy.	53,3	58,1	53,9	52,8	54,1	50,9	8,4	59,3	12,9	409	396	402	407	403	944	934	951	947	945	

Novembre 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,38000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	52,7	57,4	53,8	53,6	53,8	51,0	8,5	57,8	13,0	410	397	416	411	408	951	938	950	948	948	Calme.
2....	52,7	56,4	53,2	52,7	53,4	52,1	9,0	56,9	12,5	416	417	417	415	416	950	939	953	953	950	Id.
3....	52,2	57,0	53,8	53,2	53,4	50,0	8,5	57,5	13,0	419	419	418	414	417	952	949	952	953	949	Id.
4....	52,7	56,2	56,2	49,7	53,4	51,8	8,3	56,4	15,0	421	409	401	400	410	948	944	956	959	952	Presque calme.
5....	53,6	56,2	54,2	41,3	52,7	50,9	8,5	56,9	13,8	410	406	405	410	407	949	937	952	953	950	Peu agitée.
6....	53,0	56,4	53,9	53,0	54,4	"	"	"	"	405	369	387	388	386	946	943	957	954	946	Très agitée.
7....	53,7	56,9	54,8	54,5	53,8	"	"	"	"	421	400	325	373	376	949	943	984	976	953	Perturbation.
8....	53,9	59,6	55,1	52,0	54,2	"	"	"	"	388	376	370	397	378	952	947	977	962	950	Très agitée.
9....	53,2	58,7	54,2	52,8	54,2	"	"	"	"	394	387	389	412	392	957	953	968	964	960	Id.
10....	53,9	56,2	50,6	51,5	53,0	"	"	57,4	12,5	397	382	403	406	392	952	939	958	946	948	Agitée.
11....	53,2	57,4	53,4	52,7	53,8	51,5	9,0	57,6	13,0	402	373	406	413	395	950	945	954	951	950	Presque calme.
12....	53,0	56,8	53,4	53,0	53,6	50,9	8,7	57,2	12,3	410	395	407	404	404	946	940	948	946	947	Calme.
13....	52,4	57,2	52,6	53,6	53,9	51,5	8,8	58,1	12,5	408	391	390	407	402	944	944	951	951	947	Id.
14....	52,8	57,2	51,4	51,6	53,9	52,1	8,0	57,4	12,7	409	386	393	408	400	947	948	959	956	951	Presque calme.
15....	52,7	57,0	53,8	52,4	53,3	52,1	8,5	57,0	12,0	413	396	392	403	402	953	950	957	956	953	Id.
16....	52,7	56,2	53,6	52,7	53,4	53,0	9,0	56,3	12,3	415	416	401	403	408	948	942	954	957	950	Id.
17....	52,7	55,7	53,8	53,0	53,4	52,4	8,8	56,2	13,4	410	405	404	403	411	951	943	949	947	949	Id.
18....	51,0	56,6	52,7	50,3	53,3	"	"	"	"	408	393	406	398	401	944	938	959	951	946	Peu agitée.
19....	52,2	56,6	53,2	52,7	53,3	52,0	8,8	56,9	12,3	402	395	406	407	402	950	946	952	951	951	Presque calme.
20....	52,1	55,2	53,2	51,5	52,7	51,2	8,5	55,7	12,1	417	403	415	413	411	954	942	953	954	951	Id.
21....	51,8	56,9	54,5	52,6	53,2	52,0	8,6	57,0	11,9	418	411	409	408	412	953	947	957	954	954	Peu agitée.
22....	52,7	55,6	53,6	53,2	53,4	52,0	8,7	56,2	13,4	414	409	415	411	411	955	947	956	955	952	Calme.
23....	53,0	56,0	53,4	53,0	53,6	52,2	8,7	56,2	13,2	414	397	413	415	408	955	943	948	943	949	Id.
24....	52,7	56,8	53,6	53,4	53,6	51,6	8,7	56,9	12,3	420	400	413	414	409	947	938	949	946	945	Id.
25....	53,2	55,8	54,4	52,7	53,9	52,4	8,8	57,0	12,6	420	414	428	415	418	948	943	949	947	946	Id.
26....	53,6	56,0	53,9	52,8	53,8	51,6	9,3	56,2	12,5	421	418	410	413	418	950	941	948	949	948	Id.
27....	53,6	55,6	54,5	53,8	53,6	52,1	9,0	56,0	13,6	418	414	416	406	415	947	947	953	953	949	Id.
28....	53,0	56,2	53,9	52,7	53,8	52,2	8,7	56,8	13,7	416	409	418	401	410	952	948	956	959	953	Id.
29....	52,7	55,7	54,2	53,3	53,6	52,1	9,1	56,9	12,8	414	405	415	409	411	953	952	956	956	954	Id.
30....	53,4	55,4	53,3	52,7	53,6	52,4	9,0	55,8	12,3	414	416	413	411	415	948	949	953	955	951	Id.
Moy.	53,0	56,6	53,8	52,2	53,6	51,8	8,7	56,8	12,8	412	399	405	407	405	949	944	955	953	950	

Décembre 1896.

PERPIGNAN.

Observations magnétiques.

DATES.	DÉCLINAISON (13° +).								COMPOSANTE HORIZONTALE (0,22000 +).					COMPOSANTE VERTICALE (0,38000 +).					REMARQUES.	
	6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	Minimum.		Maximum.		6h.	12h.	18h.	24h.	Moy. des 24 h.	6h.	12h.	18h.	24h.		Moy. des 24 h.
						Valeur.	Heure.	Valeur.	Heure.											
1....	53,2	57,2	53,4	50,3	53,8	52,6	9,0	57,2	12,0	419	405	386	408	409	944	941	945	953	945	Peu agitée.
2....	53,6	55,8	53,6	53,0	53,6	"	"	56,2	13,0	409	413	414	414	416	946	945	952	951	948	Presque calme.
3....	53,8	56,9	55,8	41,8	53,6	52,6	9,0	57,2	12,6	420	405	336	358	401	947	942	961	963	954	Peu agitée.
4....	52,2	57,0	51,2	45,2	52,4	"	"	"	"	383	382	389	429	368	952	953	969	972	962	Perturbation.
5....	54,0	55,8	53,8	51,2	53,6	"	"	56,2	14,2	393	369	393	388	384	964	955	962	959	961	Peu agitée.
6....	53,9	54,0	52,7	52,4	52,8	52,6	8,7	55,7	13,0	401	385	379	397	392	956	950	960	953	956	Id.
7....	53,2	56,0	52,7	53,0	53,4	52,6	9,3	56,0	12,9	404	381	397	401	397	952	943	951	947	950	Presque calme.
8....	53,0	55,2	53,0	53,4	52,7	"	"	56,3	12,3	402	397	400	402	401	952	942	948	944	949	Calme.
9....	52,7	56,2	53,2	53,2	53,8	"	"	56,3	12,3	412	398	399	403	401	946	949	950	947	947	Id.
10....	53,0	55,7	53,9	52,4	54,0	52,6	9,2	56,3	12,6	411	399	399	400	404	947	942	952	949	946	Presque calme.
11....	53,6	56,6	53,4	52,4	53,8	"	"	"	"	408	405	406	413	407	944	946	949	948	947	Id.
12....	53,0	54,5	52,7	52,7	53,2	52,4	9,6	54,5	12,0	418	412	415	418	415	949	950	951	950	950	Calme.
13....	53,0	58,7	51,0	53,0	54,0	"	"	"	"	432	379	408	374	408	948	945	957	977	952	Agitée.
14....	51,0	56,9	52,4	49,0	52,1	"	"	60,0	12,8	398	394	399	423	395	959	951	964	958	959	Id.
15....	52,6	55,2	51,6	52,8	52,7	51,5	8,8	"	"	402	392	386	406	399	957	949	952	954	955	Peu agitée.
16....	53,0	56,4	52,7	52,8	53,3	50,4	9,3	56,6	13,0	412	408	411	413	409	954	946	955	949	952	Presque calme.
17....	52,7	54,6	53,3	53,8	53,3	52,1	9,3	56,2	13,3	409	406	415	411	410	947	942	949	946	947	Id.
18....	53,3	55,6	53,0	53,0	53,3	52,6	8,9	55,7	13,0	414	412	414	413	413	950	948	953	949	950	Calme.
19....	52,7	55,4	53,4	53,0	53,3	52,0	8,0	55,4	12,0	415	424	422	414	418	955	955	962	958	958	Id.
20....	52,7	56,6	53,2	53,0	53,4	52,4	8,5	56,8	12,3	421	409	418	417	416	959	947	954	950	953	Id.
21....	53,3	57,0	53,6	53,3	53,8	52,6	9,2	57,4	12,5	418	414	423	423	418	950	942	953	946	949	Id.
22....	52,7	56,8	53,6	53,0	53,6	52,2	9,3	56,9	12,3	418	418	430	419	422	942	939	946	942	944	Id.
23....	52,7	56,6	54,2	52,0	53,9	52,4	6,2	57,4	14,6	424	416	415	400	416	944	944	949	948	947	Presque calme.
24....	53,2	54,5	53,2	50,3	53,3	51,8	9,3	55,7	14,5	427	415	422	408	417	949	945	952	947	946	Id.
25....	53,2	56,0	53,9	51,5	53,3	51,0	9,0	56,2	13,0	417	417	415	405	414	948	945	947	948	949	Calme.
26....	54,2	54,5	54,4	52,2	53,4	52,6	8,6	55,2	12,7	417	425	406	424	418	952	953	958	952	954	Presque calme.
27....	53,6	56,6	54,2	49,7	53,4	52,6	8,8	57,4	13,3	418	421	416	391	416	953	954	955	961	951	Id.
28....	52,8	56,0	53,3	52,0	53,4	51,2	9,0	57,0	12,8	413	409	421	414	415	949	952	956	960	955	Peu agitée.
29....	52,4	54,8	53,8	52,6	53,2	51,8	8,5	55,7	13,4	428	416	418	416	418	963	959	967	967	954	Id.
30....	52,7	56,6	53,4	52,8	53,4	51,6	8,0	56,8	13,0	418	413	413	415	418	963	961	960	957	954	Presque calme.
Moy.	53,0	56,6	53,4	51,6	53,4	52,1	8,8	56,5	12,9	413	405	406	407	408	952	950	955	954	953	Calme.

Année 1896. — Résumé.

PERPIGNAN.

Déclinaison.

HEURES.	ÉCARTS AVEC LA MOYENNE MENSUELLE.													DÉCLINAISON.
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Nov.	Déc.	Moyenne.	
1.....	-2,2	-1,9	-2,2	-1,1	-1,1	-1,0	-1,2	-1,6	-1,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,4	13.53,9
2.....	-1,2	-1,3	-1,7	-1,1	-1,5	-1,0	-1,2	-1,7	-1,7	-0,9	-0,8	-1,0	-1,3	54,0
3.....	-0,6	-0,9	-1,6	-1,0	-1,4	-1,0	-1,5	-1,5	-1,5	-0,9	-0,4	-0,4	-1,1	54,2
4.....	-0,4	-0,6	-1,6	-1,2	-1,4	-1,6	-2,1	-1,6	-1,7	-0,7	-0,6	-0,1	-1,1	54,2
5.....	-0,4	-0,7	-1,6	-1,8	-2,1	-2,6	-3,0	-2,2	-1,7	-0,9	-0,4	-0,6	-1,5	53,8
6.....	-0,4	-0,7	-1,6	-2,1	-2,9	-3,7	-3,9	-3,1	-2,1	-0,8	-0,6	-0,4	-1,9	53,4
7.....	-0,4	-0,6	-2,2	-3,8	-4,1	-4,2	-4,0	-4,0	-3,1	-1,3	-0,6	-0,4	-2,4	52,9
8.....	-0,6	-1,2	-3,4	-4,7	-4,4	-4,2	-3,9	-4,0	-3,5	-2,5	-0,9	-0,4	-2,8	52,5
9.....	-0,8	-1,2	-3,0	-4,1	-3,1	-3,4	-2,7	-2,3	-2,6	-2,3	-1,0	-0,7	-2,3	53,0
10.....	0,6	-0,1	-1,2	-1,6	-0,3	-1,4	-0,8	0,7	0,1	-0,8	-0,2	0,2	-0,4	54,9
11.....	1,9	1,5	1,6	2,0	2,5	1,3	1,8	3,2	3,3	2,1	1,6	1,6	2,0	57,3
12.....	3,0	3,5	5,0	5,0	4,2	3,5	4,0	5,1	5,5	4,0	3,0	2,6	4,0	59,3
13.....	4,0	4,5	6,2	6,8	5,5	4,6	5,4	5,6	6,3	5,1	3,2	2,9	5,0	60,3
14.....	3,2	4,2	6,0	6,6	5,8	5,2	5,5	5,1	5,2	4,1	2,6	2,2	4,6	59,9
15.....	1,8	3,5	4,3	5,2	4,3	4,3	4,6	3,7	3,4	2,7	1,5	1,2	3,4	58,7
16.....	1,4	1,9	2,2	3,1	3,1	3,0	2,8	2,0	1,9	0,9	0,9	1,0	2,0	57,3
17.....	0,4	0,1	0,7	1,3	1,5	1,9	1,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,6	0,8	56,1
18.....	0,2	0,0	0,4	0,2	0,3	1,2	0,7	-0,2	0,0	-0,2	0,2	0,0	0,2	55,5
19.....	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,2	0,2	0,0	-0,3	-0,7	-0,8	-0,8	-0,4	-0,5	54,8
20.....	-1,1	-0,9	-1,2	-1,1	-0,8	0,1	0,2	-0,4	-0,5	-1,1	-0,8	-0,8	-0,7	54,6
21.....	-2,3	-1,8	-1,1	-1,6	-1,1	0,2	0,0	-0,5	-1,3	-1,4	-1,5	-1,3	-1,2	54,1
22.....	-2,0	-2,3	-1,4	-1,1	-0,8	0,1	-0,8	-0,7	-0,9	-1,5	-1,5	-1,4	-1,2	54,1
23.....	-2,6	-2,9	-1,8	-1,6	-1,4	-0,4	-0,8	-1,0	-1,3	-1,5	-1,4	-1,4	-1,5	53,8
24.....	-1,9	-2,0	-1,7	-1,3	-1,2	-0,5	-1,1	-1,2	-1,4	-1,3	-1,4	-1,8	-1,4	53,9
Écart diurne.....	5,8	6,9	11,0	12,5	11,1	10,4	10,9	10,9	10,8	8,4	5,0	4,4	9,0	"
Déclinaison (13° +)	57,6	57,6	56,8	56,2	55,9	55,0	54,8	54,3	54,1	54,1	53,6	53,4	"	13.55,3

Année 1896. — Résumé.

PERPIGNAN.

Composante horizontale.

HEURES.	ÉCARTS AVEC LA MOYENNE MENSUELLE.													COMPOSANTE horizontale.
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Nov.	Déc.	Moyenne.	
1.....	0	3	1	5	5	2	4	8	7	2	1	-3	3	0,22401
2.....	-2	0	3	3	4	1	6	5	8	3	0	-3	2	400
3.....	1	2	2	3	1	2	5	6	4	5	0	-2	3	401
4.....	4	3	2	6	1	0	4	5	8	2	5	2	4	402
5.....	6	7	2	4	1	1	3	2	6	6	4	5	4	402
6.....	12	8	3	5	-1	-3	-2	-3	3	6	7	5	4	402
7.....	12	11	2	1	-5	-7	-9	-10	-3	4	7	7	1	399
8.....	12	10	-2	-7	-9	-8	-15	-19	-12	-1	7	8	-3	395
9.....	2	3	-7	-13	-11	-10	-18	-24	-21	-6	1	6	-8	390
10.....	-6	-6	-11	-14	-12	-9	-16	-21	-19	-11	-3	2	-10	388
11.....	-11	-10	-10	-12	-9	-6	-11	-12	-14	-10	-9	-2	-9	389
12.....	-9	-9	-5	-10	-4	-4	-5	-1	-5	-7	-6	-3	-6	392
13.....	-9	-9	-2	-7	-3	-1	2	3	-2	-7	-5	-4	-4	394
14.....	-10	-4	0	-6	-3	0	3	3	1	-5	-7	-4	-3	395
15.....	-2	-5	-1	1	-2	0	4	1	2	-5	-5	-4	-1	397
16.....	-4	-10	-5	3	1	3	2	1	-1	-5	-5	-1	-2	396
17.....	-2	-8	-3	6	3	3	1	2	-2	-3	-1	-3	0	398
18.....	-1	-4	0	5	4	8	3	5	0	-1	0	-2	2	400
19.....	1	0	3	7	6	6	8	6	6	4	1	0	4	402
20.....	2	6	4	4	7	8	8	9	3	5	2	1	5	403
21.....	7	4	5	4	7	9	8	11	7	5	2	3	6	404
22.....	0	0	6	4	4	9	9	8	6	5	1	-2	4	402
23.....	-1	4	6	4	4	5	6	7	10	4	-1	-1	4	402
24.....	0	2	6	4	3	2	6	10	8	4	2	-1	4	402
Écart diurne.....	23	21	17	21	19	19	27	35	31	17	16	12	21	"
Composante horizontale. (0,22000+)	367	377	384	393	398	416	412	411	406	403	405	408	"	0,22398

HEURES.	ÉCARTS AVEC LA MOYENNE MENSUELLE.													COMPOSANTE verticale.
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Nov.	Dec.	Moyenne.	
1.....	-2	-1	2	5	4	5	2	3	2	0	-1	0	2	0,38950
2.....	-2	-2	1	4	2	4	1	3	2	-1	-1	0	1	949
3.....	-2	-2	0	4	2	4	1	3	2	-1	-1	0	1	949
4.....	-3	-1	0	3	4	5	2	3	2	0	-1	-1	1	949
5.....	-3	-3	0	3	4	6	3	3	1	-1	-1	0	1	949
6.....	-3	-2	1	5	5	5	3	3	1	-1	-1	-1	1	949
7.....	-4	-3	3	5	5	4	3	3	3	0	-2	-1	1	949
8.....	-3	-3	4	3	0	2	1	1	2	1	-2	-1	1	949
9.....	-5	-6	-2	-2	-7	-1	-2	-3	-1	-2	-4	-2	-3	945
10.....	-7	-9	-10	-4	-11	-6	-5	-8	-7	-8	-6	-4	-7	941
11.....	-7	-13	-16	-13	-17	-11	-9	-11	-11	-11	-9	-4	-11	937
12.....	-9	13	-18	-16	-18	-4	-12	-12	-12	-11	-6	-3	-12	936
13.....	-5	-11	-16	-17	-16	-13	-12	-10	-11	-8	-5	-1	-10	938
14.....	1	-5	-9	-12	-10	-9	-9	-8	-6	-3	1	0	-5	943
15.....	5	3	-1	-6	-4	-4	-3	-1	-1	3	4	2	0	948
16.....	8	10	7	0	3	1	1	2	2	6	5	3	4	952
17.....	6	10	11	4	8	4	4	4	3	7	5	2	6	954
18.....	7	10	10	7	11	6	5	5	4	6	5	2	7	955
19.....	7	9	10	6	11	6	4	5	5	6	4	2	6	954
20.....	6	9	9	6	11	7	4	5	5	5	4	2	6	954
21.....	6	6	8	6	10	6	3	4	4	4	4	2	5	953
22.....	4	5	7	6	9	5	3	4	3	3	4	2	5	953
23.....	4	3	6	4	7	4	2	3	3	3	3	2	4	952
24.....	4	2	4	4	6	4	1	3	2	2	3	1	3	951
Écart diurne.....	16	23	29	24	29	21	17	17	17	18	14	7	19	"
Composante verticale. (0,38000+)	949	943	947	950	945	956	959	948	946	945	950	953	"	0,38948

HEURES.	ÉCARTS AVEC LA MOYENNE MENSUELLE.													INCLINAISON.
	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Octobre.	Nov.	Dec.	Moyenne.	
1.....	0,0	-0,3	0,0	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	-0,4	-0,4	-0,1	-0,1	0,2	-0,1	60,5,8
2.....	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	0,1	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2	-0,1	0,2	-0,1	5,8
3.....	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,2	-0,4	-0,1	0,1	-0,2	5,7
4.....	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	0,0	0,2	-0,1	-0,2	-0,5	-0,1	-0,5	-0,2	-0,2	5,7
5.....	-0,5	-0,6	-0,2	-0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	5,7
6.....	-0,9	-0,6	-0,2	-0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	-0,2	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	5,7
7.....	-0,9	-0,9	-0,1	0,1	0,5	0,6	0,8	0,8	0,3	-0,2	-0,6	0,5	0,0	5,9
8.....	-0,9	-0,8	0,2	0,6	0,5	0,6	1,1	1,3	0,8	0,1	-0,6	-0,6	0,2	6,1
9.....	-0,3	-0,5	0,3	0,8	0,4	0,6	1,2	1,5	1,3	0,3	-0,2	-0,5	0,4	6,3
10.....	0,2	0,0	0,3	0,7	0,3	0,3	0,9	1,1	0,9	0,4	-0,1	-0,3	0,4	6,3
11.....	0,5	0,1	0,0	0,3	-0,1	0,0	0,4	0,4	0,5	0,3	0,2	0,0	0,2	6,1
12.....	0,3	0,1	-0,4	0,0	-0,5	-0,3	-0,1	-0,4	-0,2	0,1	0,1	0,1	-0,1	5,8
13.....	0,5	0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	0,2	0,1	0,2	-0,1	5,8
14.....	0,7	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	0,2	0,5	0,1	-0,1	5,8
15.....	0,4	0,2	0,0	-0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,2	0,5	0,5	0,3	0,0	5,9
16.....	0,6	1,0	0,5	-0,2	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,6	0,5	0,2	0,2	6,1
17.....	0,4	0,9	0,6	-0,2	0,1	-0,1	0,2	0,0	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2	6,1
18.....	0,4	0,6	0,3	-0,1	0,1	-0,3	0,1	-0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	6,0
19.....	0,2	0,3	0,1	-0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	5,9
20.....	0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	5,8
21.....	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	5,7
22.....	0,2	0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	0,1	0,2	-0,1	5,8
23.....	0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,1	0,0	0,2	-0,2	5,7
24.....	0,2	-0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,3	-0,4	-0,5	-0,2	0,0	0,1	-0,1	5,8
Écart diurne.....	1,6	1,9	1,0	1,1	1,0	1,0	1,7	2,0	1,9	1,0	1,1	0,9	1,4	"
Inclinaison (60° +)	7,6	7,1	6,8	6,3	5,8	5,0	5,3	5,0	5,3	5,4	5,5	5,4	"	60,5,9

COMPARAISON

DES

APPAREILS MAGNÉTIQUES DE VOYAGE

DE L'OBSERVATOIRE DU PARC SAINT-MAUR

AVEC CEUX DE DIVERS OBSERVATOIRES MAGNÉTIQUES ÉTRANGERS,

PAR M. TH. MOUREAUX.

La Conférence météorologique internationale, réunie à Paris, en 1896, a, dans sa séance du 23 septembre, adopté la résolution suivante : « La comparaison des réseaux magnétiques des différents pays exige que les instruments qui ont servi aux différents levés magnétiques soient comparés entre eux à plusieurs reprises. » Le réseau magnétique français étant maintenant achevé, il importait, avant d'en publier les résultats, de comparer nos instruments de voyage avec ceux des pays voisins. Dans l'été de 1897, nous nous sommes rendu à Londres et à Bruxelles, et nous avons procédé à des mesures comparatives avec les appareils des observatoires de Kew et d'Uccle.

Antérieurement, en 1896, la Société impériale russe de Géographie de Saint-Petersbourg nous ayant chargé d'une exploration magnétique dans le Gouvernement de Koursk, nous sommes passé par Saint-Petersbourg, afin de comparer nos appareils de voyage avec ceux de l'observatoire de Pavlovsk.

Les conditions dans lesquelles ont été faites les observations dans chacun de ces trois établissements seront indiquées plus loin.

La déclinaison et l'inclinaison ont été déterminées par les méthodes ordinaires, qu'il est inutile de décrire; mais il convient d'insister sur l'observation de la composante horizontale, dont les résultats, obtenus dans tous les cas par la méthode de Gauss, peuvent présenter néanmoins quelques différences, dues au mode de détermination des constantes.

Nous avons indiqué (1), en même temps que les méthodes d'observation dont

(1) *Annales du Bureau central météorologique*, année 1884, p. B. 57 et suivantes. — *Annales de Chimie et de Physique*, septembre 1890.

nous faisons usage, les conditions dans lesquelles ces constantes ont été établies pour notre théodolite de voyage; nous avons dit, notamment, que la correction relative à l'induction par la Terre n'a pas été appliquée jusqu'ici.

Les longueurs R et R' des tiges sont connues rigoureusement, ainsi que le moment d'inertie des barreaux. En raison des dimensions réduites de tous les organes de l'appareil, le coefficient magnétométrique $\frac{\alpha}{R^2}$ n'avait pas été observé directement au théodolite de voyage; on avait espéré obtenir plus de précision en déduisant ce terme d'expériences répétées, bien concordantes d'ailleurs, faites à un appareil spécial, et c'est cette valeur qui a été adoptée dans tous nos calculs relatifs à la composante horizontale.

En 1889, M. le Dr van Rijkevorsel, de Rotterdam (1), a effectué sur le pilier de l'observatoire du Parc Saint-Maur, une série de mesures de H, desquelles il résultait que les valeurs obtenues avec son appareil étaient moins élevées que les nôtres de 0,00071.

Plus tard, en 1891, M. Solander (2) fit, dans notre pavillon magnétique, une autre série de comparaisons, et trouva un écart de même sens de 0,00094. La correction d'induction, non appliquée, n'était pas de nature à rendre compte de ces différences.

MM. Brunner frères nous ayant livré un grand théodolite de station, nous avons étudié avec soin cet appareil. Les valeurs du terme $\frac{\alpha}{R^2}$, observées, comme pour le petit théodolite de voyage, au moyen de l'appareil spécial, et introduites dans le calcul de H, conduisaient à des valeurs identiques de cet élément avec les deux appareils. Mais, avec le grand instrument, la graduation plus détaillée du cercle horizontal et les dimensions plus grandes des barreaux et des tiges permettaient de vérifier directement au théodolite la valeur du coefficient magnétométrique obtenu à l'appareil spécial.

Deux longues séries d'expériences, faites en décembre 1895 et en janvier 1896, en temps de calme magnétique, ont montré que le coefficient résultant de l'observation directe au théodolite était, pour les deux barreaux, plus faible que le coefficient adopté, d'après les expériences faites à l'appareil spécial. L'introduction de la nouvelle valeur de ce terme dans le calcul diminuerait la valeur de H de 0,00047.

D'un autre côté, des expériences, non définitives, il est vrai, mais nombreuses et variées, ont montré que, pour nos barreaux fortement aimantés, l'applica-

(1) *An attempt to compare the instruments for absolute magnetic measurements at different observatories*; by Dr van Rijkevorsel; Amsterdam, 1890.

(2) *Vergleichung der Bestimmungen der Horizontalintensität an verschiedenen magnetischen Observatorien*; von E. Solander; Upsala, 1893.

tion de la correction due à l'induction diminuerait encore H de $\frac{1}{1000}$ environ ⁽¹⁾, soit de 0,00020, ce qui porterait à $-0,00067$ la correction à faire subir à toutes nos valeurs de la composante horizontale.

Les mêmes vérifications ont été entreprises avec le petit théodolite de voyage, mais, bien que les valeurs du coefficient magnétométrique obtenues ainsi directement soient également plus faibles que celles fournies par l'appareil spécial, elles présentent entre elles des discordances assez grandes, dues vraisemblablement aux dimensions réduites des organes. Dans ces conditions, et en diminuant de 0,00067 les valeurs de H obtenues au grand théodolite, considéré comme étalon, nous avons, par des expériences répétées, cherché par comparaison, pour chacun des barreaux du petit théodolite de voyage, la valeur du coefficient magnétométrique qu'il convenait d'introduire dans le calcul pour que les valeurs de H , observées au même point et ramenées aux indications du magnétographe, fussent égales avec les deux appareils. Nous avons été ainsi conduit à adopter définitivement les expressions suivantes :

Petit théodolite de voyage.

Barreau n° 1.

$$\log H_1 = 7,5992848 - \log t_1 - \frac{1}{2} \log \sin \alpha_1 - \log [1 + 0,00050(\theta - \theta')]^2,$$

Barreau n° 2.

$$\log H_2 = 7,6014365 - \log t_2 - \frac{1}{2} \log \sin \alpha_2 - \log [1 + 0,00035(\theta - \theta')]^2,$$

dans lesquelles le terme relatif à la température θ disparaît si les expériences d'oscillations et de déviations sont faites à la même température.

Bien que la nécessité d'une correction soit reconnue depuis plusieurs années déjà, nous avons continué jusqu'ici à faire usage de nos anciennes formules, de façon que les valeurs de H , publiées chaque année, restent comparables entre elles jusqu'à l'achèvement complet du réseau magnétique français.

C'est au contraire à l'aide des nouvelles formules qu'ont été calculées nos observations comparatives de la composante horizontale à Pavlovska, à Kew et à Uccle. On verra plus loin que l'emploi de ces expressions donne des résultats satisfaisants. Ajoutons encore que, pour rester dans les conditions dans lesquelles nous opérons habituellement en voyage, nous avons, dans toutes nos expériences de comparaison, cherché à établir le mieux possible l'équilibre de température pendant les oscillations et pendant les déviations, et que, dans le calcul de nos observations de H , nous n'avons pas tenu compte du terme relatif à la température.

(1) *Sur le champ magnétique terrestre*; par M. Mascart. — *Annales du Bureau central météorologique*, année 1890, t. I, p. B. 122 et suivantes.

PAVLOVSK. — 14-16 MAI 1896.

Le bâtiment qui abritait les appareils de mesures absolues a été incendié en 1895; à notre passage à Pavlovsk, le 14 mai 1896, le pilier sur lequel on observait la déclinaison était presque complètement enlevé, il n'en restait que le soubassement. On a donc dû disposer un trépied autour de ce soubassement, de façon que l'appareil soit placé, aussi exactement que possible, dans la position antérieure; M. Glassek, chef du service magnétique, nous a assisté dans ces préparatifs. Le ciel étant resté couvert pendant notre séjour à Pavlovsk, cette disposition devenait indispensable, pour qu'il soit possible de déduire le nord géographique, de l'azimut connu de la mire habituelle.

Bien qu'une tente ait été dressée au-dessus de l'instrument, une neige fine et surtout un vent assez fort ont contrarié les observations, déjà difficiles par suite des conditions d'installation. Il est nécessaire de tenir compte de ces conditions spéciales, qui enlèvent sans doute aux observations le caractère de rigueur indispensable à des mesures de comparaison. Ajoutons encore que le court séjour que nous avons fait à Saint-Petersbourg n'a pas permis de répéter les expériences, comme il eût été convenable de le faire.

Les mesures de la déclinaison et de la composante horizontale ont été effectuées sur l'emplacement de l'ancien pilier; pour les mesures de l'inclinaison, l'appareil, afin d'être mieux abrité du vent, a été disposé à l'entrée du bois, à 20^m environ au sud-est du premier point.

Les valeurs des trois éléments, relevées sur les courbes du magnétographe de l'observatoire, nous ont été obligeamment fournies par M. Rikatcheff, Directeur de l'observatoire physique central de Saint-Petersbourg.

OBSERVATIONS COMPARATIVES A PAVLOVSK. — MAI 1896.

Dates.	Heures (t.m. de Pavlovsk).	Observatoire.	Moureaux.	O.-M.
<i>Déclinaison orientale.</i>				
14.....	2 ^h 13 ^m à 2 ^h 25 ^m s.	-- 0° 11', 4	-- 0° 10', 4	-- 1', 0
14.....	2 ^h 28 ^m à 2 ^h 43 ^m s.	-- 0° 12', 5	-- 0° 10', 9	-- 1', 6
				Moyenne..... -- 1', 3
<i>Composante horizontale.</i>				
14.....	10 ^h 44 ^m à 11 ^h 42 ^m m.	0,16455	0,16445	+ 0,00010
14.....	11 ^h 50 ^m à 0 ^h 19 ^m s.	0,16461	0,16444	+ 0,00017
				Moyenne..... + 0,00013
<i>Inclinaison.</i>				
16.....	3 ^h 43 ^m à 4 ^h 13 ^m s.	70° 40', 6	70° 39', 6	+ 1', 0
16.....	4 ^h 17 ^m à 4 ^h 38 ^m s.	70° 40', 4	70° 39', 8	+ 0', 6
				Moyenne..... + 0', 8

KEW. — 26-29 JUILLET 1897.

A Kew, toutes les observations ont été faites dans le pavillon spécial, sur le pilier en usage pour les mesures absolues. Pour la déclinaison, on s'est servi de l'azimut de la mire de l'observatoire, située à 400 mètres du pilier, dans la direction du nord. Toutefois, la lunette de notre théodolite étant excentrique par rapport à l'axe de l'instrument, le chambranle de la porte d'entrée du pavillon empêchait de faire des pointés lorsque cette lunette était à l'est de l'axe; on a dû se borner à des pointés avec la lunette à l'ouest. Dans le calcul de la déclinaison, on a tenu compte de la correction résultant de l'excentricité de la lunette, correction qui, dans les conditions de l'observation, était de $-0'30''$.

Toutes nos observations de Kew, du 26 au 29 juillet 1897, correspondent à une situation magnétique calme; faites dans les meilleures conditions d'installation, et au point même où se font habituellement les mesures absolues, c'est de nos trois séries celle qui nous inspire le plus de confiance.

Nos résultats ont été communiqués à l'observatoire de Kew le 13 août 1897; M. Charles Chree, Surintendant, a bien voulu nous adresser, à la date du 7 septembre, pour les époques de nos observations, les valeurs relevées sur les courbes du magnétographe, et rapportées à des mesures absolues faites par M. Baker, premier assistant, qui a pris la peine d'opérer aux mêmes dates que nous, pendant les heures où nous laissions disponible le pilier du pavillon (1).

OBSERVATIONS COMPARATIVES A KEW. — JUILLET 1897.

Dates.	Heures (t. m. de Greenwich).	Observatoire.	Moureux.	O.-M.
<i>Déclinaison occidentale.</i>				
26.....	3 ^h .47 à 4 ^h .2 ^m s.	17.5,9	17.5,7	+ 0,2
27.....	10. 5 à 10.18 m.	17.4,8	17.5,0	- 0,2
27.....	10.22 à 10.32 m.	17.6,0	17.5,7	+ 0,3
28.....	9. 9 à 9.24 m.	17.2,1	17.1,3	+ 0,8
28.....	9.28 à 9.40 m.	17.3,0	17.1,9	+ 1,1
29.....	11.37 à 11.49 m.	17.9,9	17.9,3	+ 0,6
		Moyenne.....		+ 0,5

(1) Extrait de la lettre de M. Chree : « L'accord entre les mesures absolues de la déclinaison et de la composante horizontale faites par M. Baker et les valeurs correspondantes relevées sur nos courbes est très remarquable. Il me semble que les comparaisons de l'inclinaison ne sont pas tout à fait aussi satisfaisantes, parce que les observations faites par vous-même et par M. Baker se rapportent à des heures très différentes, et la comparaison est aussi beaucoup moins directe ».

Composante horizontale.

26.....	$\begin{matrix} \text{h} & \text{m} \\ 4.13 & \text{à} & 4.42 \end{matrix}$ s.	0,18354	0,18356	- 0,00002
27.....	10.41 à 11.10 m.	0,18325	0,18324	+ 0,00001
28.....	9.48 à 10.18 m.	0,18328	0,18349	- 0,00021
28.....	10.43 à 11.11 m.	0,18320	0,18339	- 0,00019
29.....	10.24 à 10.56 m.	0,18320	0,18343	- 0,00023
29.....	11. 1 à 11.31 m.	0,18320	0,18327	- 0,00007
	Moyenne.....			- 0,00011

Inclinaison.

27.....	$\begin{matrix} \text{h} & \text{m} \\ 11.15 & \text{à} & 11.41 \end{matrix}$ m.	67°.20',2	67°.18',9	+ 1',3
28.....	11.21 à 11.43 m.	67.20,3	67.18,7	+ 1,6
29.....	8.55 à 9.18 m.	67.19,8	67.17,3	+ 2,5
29.....	9.21 à 9.43 m.	67.20,0	67.17,6	+ 2,4
29.....	9.47 à 10. 9 m.	67.20,0	67.18,0	+ 2,0
	Moyenne.....			+ 2,0

UCCLE. — 4-5 AOUT 1897.

Les observations ont été faites dans la propriété de l'observatoire royal de Belgique, à Uccle, près de Bruxelles, au voisinage du point où nous avons fait une première série de déterminations magnétiques, le 22 juillet 1885.

Il n'a malheureusement pas été possible de disposer nos appareils de voyage sur le pilier du pavillon des mesures absolues. Nous avons dû faire usage d'un pied de campagne, qu'on a installé dans la pelouse, près d'un massif d'arbres, à 50^m environ à l'est du pavillon.

Pour la déclinaison, il a donc été nécessaire de déterminer le méridien géographique. La direction du nord vrai résulte de trois groupes d'observations du Soleil en hauteur et en azimut, qui ont été calculés séparément, et dont la concordance est satisfaisante. On a trouvé, en effet, pour la division du cercle azimutal correspondant au nord géographique, les nombres suivants :

Premier groupe.....	215°.59',6
Deuxième groupe.....	215.59,2
Troisième groupe.....	215.59,4

L'observation du méridien magnétique a suivi immédiatement celle du Soleil; ces dernières expériences ont été contrariées par un coup de vent.

Pendant les mesures de la composante horizontale, le temps était beau et calme, l'appareil étant parfaitement à l'ombre.

Les variations magnétiques ont été régulières pendant nos observations d'Uccle.

M. Ch. Lagrange, astronome chef du service magnétique, nous a fourni les valeurs des éléments à Uccle, d'après les courbes du magnétographe. Nous

devons remercier tout particulièrement M. Lancaster, météorologiste-inspecteur, qui s'est mis à notre disposition avec sa bienveillance accoutumée.

OBSERVATIONS COMPARATIVES A UCCELÉ. — AOUT 1897.

Dates.	Heures (t. m. d'Uccle).	Observatoire.	Mouraux.	O.-M.
<i>Déclinaison occidentale.</i>				
5.....	5.58 à 6.10 s.	14.26,3	14.24,8	+ 1,5
5.....	6.12 à 6.23 s.	14.25,7	14.24,4	+ 1,3
5.....	6.26 à 6.39 s.	14.25,7	14.24,1	+ 1,6
		Moyenne.....		+ 1,5
<i>Composante horizontale.</i>				
4.....	4.34 à 5. 8 s.	0,18936	0,18936	0,00000
4.....	5.17 à 5.50 s.	0,18936	0,18931	+ 0,00005
5.....	4. 6 à 4.33 s.	0,18939	0,18938	+ 0,00001
		Moyenne.....		+ 0,00002
<i>Inclinaison.</i>				
4.....	3.18 à 3.42 s.	»	66.16,9	»
4.....	3.46 à 4.10 s.	»	66.16,3	»
4.....	6. 8 à 6.28 s.	»	66.17,8	»
4.....	6.32 à 6.53 s.	»	66.16,6	»

Remarque. — Nos observations d'Uccle, de 1885 et de 1897, ayant été faites sensiblement au même point, avec les mêmes instruments, et par le même observateur, permettent d'établir la variation séculaire des éléments magnétiques au nouvel observatoire de Bruxelles, entre ces deux époques. Les nombres de la première série ont été ramenés au 1^{er} janvier 1885 (¹), et les observations ci-dessus au 1^{er} janvier 1897. Afin de rendre comparables entre elles les valeurs de la composante horizontale, on a appliqué à celle de 1885 la correction — 0,00067, indiquée plus haut.

Variation séculaire des éléments magnétiques à l'observatoire d'Uccle, de 1885 à 1897.

Uccle.	Déclinaison.	Composante horizontale.	Inclinaison.
1 ^{er} janvier 1885.....	15.36,4	0,18623	66.33,6
1 ^{er} janvier 1897.....	14.29,7	0,18895	66.19,0
Variation séculaire (12 années)....	— 1. 6,7	+ 0,00272	— 0.14,6
Année moyenne..	— 5,6	+ 0,00023	— 1,2

(¹) Voir *Annales du Bureau central météorologique*, année 1884, t. I, p. B. 108.

B.44 COMPARAISON DES APPAREILS MAGNÉTIQUES DE VOYAGE, ETC.

Nous avons vu que M. le D^r van Rijkevorsel et M. Solander ont effectué des mesures absolues, chacun avec ses instruments respectifs, à l'observatoire du Parc Saint-Maur. Une troisième série a été faite également sur notre pilier, en septembre 1896, par M. le lieutenant de vaisseau Kesslitz, de la marine autrichienne, avec les instruments du Bureau hydrographique de Pola, qui ont servi aux mesures exécutées sur les côtes de l'Adriatique en 1889 et 1890.

Les appareils de voyage de l'observatoire du Parc Saint-Maur ont donc, jusqu'ici, été comparés aux instruments de six nations étrangères. Les résultats de ces comparaisons, calculés avec nos nouveaux coefficients en ce qui concerne la composante horizontale, sont résumés dans le Tableau suivant :

	Observateurs.	Années.	Déclinaison.	Composante horizontale.	Inclinaison.
	MM.				
Parc Saint-Maur-Kew.....	Moureaux.....	1897	0,5	+ 0,00011	— 2,6
Parc Saint-Maur-Pavlovsk..	Moureaux.....	1896	+ 1,3	— 0,00013	— 0,8
Parc Saint-Maur-Pola.....	Kesslitz.....	1896	— 2,4	+ 0,00006	— 1,5
Parc Saint-Maur-Rotterdam.	Van Rijkevorsel.	1889	+ 1,1	+ 0,00004	— 5,6
Parc Saint-Maur-Stockholm.	Solander.....	1891	»	— 0,00027	»
Parc Saint-Maur-Uecle.....	Moureaux.....	1897	1,5	— 0,00002	»

VENTS CONTIGUS ET NUAGES,

PAR M. BRILLOUIN.

INTRODUCTION.

1. Dans toutes les études théoriques sur la circulation générale de l'atmosphère, l'hypothèse initiale, qu'on n'énonce même pas, tant elle est liée aux habitudes d'esprit des théoriciens, est que cette circulation s'étend à l'atmosphère entière. Au contraire, le langage des observateurs rappelle les alternances de vents et de calmes, ou de vents opposés, non seulement en direction, mais dans tous leurs caractères, ce qui est bien conforme à la réalité; malheureusement le *choc* des vents, trop souvent invoqué, révèle l'habitude de comparer les mouvements internes de l'air à ceux de l'eau dans l'air; comparaison qui serait à peine juste pour des jets d'air dans le vide. Entre les deux extrêmes il y a un moyen terme: depuis environ quarante ans, Helmholtz a montré de quelle importance est la considération des surfaces de discontinuité des vitesses dans les fluides, et quelles sont les discontinuités possibles. Dans un fluide rigoureusement dépourvu de frottement interne, des surfaces de discontinuité sont possibles pour les vitesses; ces surfaces peuvent être immobiles si la composante normale de la vitesse est nulle, et si la pression est continue. Si la composante normale de la vitesse n'est pas nulle, la pression étant toujours continue, la surface se transporte de manière à séparer toujours les mêmes masses fluides, dont les vitesses tangentielles peuvent différer de grandeur, et même de sens; mais, bien entendu, la conservation de la matière est nécessaire. Je ne parle pas de discontinuités de pression, étudiées bien avant Helmholtz, et qui, se propageant avec la vitesse du son, traversent toute la masse du fluide, sans laisser de prise à une observation de quelque durée.

2. Dans un fluide absolument dépourvu de conductibilité, la température n'est astreinte à aucune condition de continuité, s'il n'y a pas de transport de matière. Ainsi, une masse de ce fluide peut être divisée en plusieurs parties. Chaque partie est animée d'un mouvement continu avec distribution continue des températures, réglé par la condition même qui définit le *fluide*, la possibilité d'échanger deux éléments de volume quelconque; la distribution est *convective*, avec ou sans échange de chaleur avec l'extérieur.

Les fluides naturels ne sont, il est vrai, complètement privés ni de conductibilité, ni de viscosité; mais dans une masse de quelques centaines de mètres d'étendue, le rôle de la conductibilité et de la viscosité, *sans mélange direct*, est incroyablement petit; c'est par centaines d'années qu'il faudrait compter le temps de propagation du mouvement à quelque cent mètres seulement de part et d'autre d'une surface de discontinuité (1). Donc, tant que le mélange direct n'intervient pas, on a le droit de considérer comme persistantes (immobiles ou non) des surfaces de discontinuité des vitesses et des températures; non seulement ces discontinuités sont permises au point de vue mathématique, mais elles sont imposées par le caractère convectif des états du fluide. Si l'atmosphère terrestre était englobée dans un mouvement d'ensemble, *sans mélanges*, les vitesses mises en jeu, même en ayant égard à la viscosité du gaz, dépasseraient toute limite possible. Il est d'ailleurs vraisemblable que, au point de vue purement mécanique, ces mouvements incroyablement rapides seraient instables. Mais, si l'atmosphère est subdivisée en un grand nombre de parties, séparées par des surfaces de discontinuité, la difficulté disparaît; les surfaces stables sont stationnaires ou lentement mobiles; les actions irrégulières surtout thermiques provoquent la formation lente et progressive des mélanges, grâce auxquels l'action régulatrice de la viscosité est prodigieusement multipliée. Certaines parties des surfaces peuvent devenir instables et, dans ce cas, le mélange prend brusquement naissance, et provoque un trouble violent. Helmholtz, dans le Mémoire déjà cité, a fondé la théorie de ces discontinuités et de leur stabilité dans le cas de l'air sec, et en supposant les subdivisions de l'atmosphère exactement annulaires. C'est ce Mémoire qui a été l'origine du présent travail, bien que je n'en adopte pas toutes les conclusions. La principale de toutes les discontinuités, celle qui localise les surfaces initiales, c'est celle que crée à la surface du globe l'opposition des propriétés des continents et des océans, et qui se manifeste par l'état nuageux de l'atmosphère. Je me suis donc proposé d'étudier les surfaces de discontinuité entre deux régions atmosphériques inégalement nuageuses, les mélanges qui y prennent naissance, leur caractère stable ou instable, la forme des nuages qui les caractérisent; c'est à quoi je suis parvenu en m'aidant des excellents Mémoires de M. von Bezold sur les mélanges d'air humide.

3. Je n'ai à peu près rien dit des nuages de détente, et de rayonnement, dont les types sont assez connus; mais je crois avoir établi une description théorique

(1) HELMHOLTZ, *Ueber atmosphärische Bewegungen* (Sitz. Ber. K. Pr. Acad. Wissensch., p. 647, 1888; p. 761, 1889).

Dans une atmosphère homogène de 8^{km} d'épaisseur, la réduction à moitié d'une discontinuité de vitesse exigerait 43000 ans; pour une discontinuité de température, ce serait environ 36000 ans.

Voir aussi Lord KELVIN, *Math. and Phys. Papers*, t. III, p. 206-208; Table des diffusivités, p. 226; Diagramme de diffusion, p. 432.

complète des nuages de mélange correspondant à des situations nettement déterminées. J'ai d'ailleurs eu fréquemment, depuis plusieurs années, l'occasion de noter les formes types dans leur plus parfaite pureté; mais ce sont des formes transitoires que le progrès du mélange atténue ⁽¹⁾ et modifie en quelques heures; en outre, le caractère typique n'est saisissant que si l'on embrasse une grande étendue d'horizon; aucune photographie ne le manifeste, le champ de l'appareil photographique est toujours trop étroit. Je dois avertir que les résultats des raisonnements, que je crois rigoureux tant au point de vue thermique qu'au point de vue dynamique, vont à l'encontre d'un certain nombre d'idées courantes. Tout d'abord, les mouvements purement thermiques ne font que provoquer l'état convectif, c'est-à-dire la circulation dite *anticyclonique*. Jamais une élévation de température locale ne peut produire autre chose ⁽²⁾. Les mouvements à rotation cyclonique ne peuvent prendre naissance qu'aux confins de deux zones animées de mouvements tangentiels différents; mais, si ces zones sont stables, si tous les mélanges possibles sont stables, le mélange se produira graduellement et à peu près uniformément sur une étendue considérable de la surface de discontinuité. Si le mélange se produit dans les mêmes conditions à toute altitude, il ne se produit qu'un mouvement transversal de la surface de discontinuité, transformée en une région de variation rapide de plus en plus large; les changements sont graduels. Si le mélange se produit inégalement ou, surtout, en sens inverse, à diverses altitudes, les deux zones s'étalent l'une au-dessus de l'autre, ou même un feuillet de l'une s'intercale entre deux couches de l'autre. La translation horizontale est rapide et opposée à différents niveaux; il se forme des courants dérivés (DUCLAUX, *Phys. et Météor.*, p. 312-320, p. 357-362) qui envahissent et traversent, en quelques jours, toute une région animée d'un mouvement différent. J'ai indiqué autrefois ⁽³⁾, et retrouvé sous une forme un peu différente, des instabilités locales, dues à l'inégale résistance des mers et des pointes de terre qui s'y avancent; mais ce ne sont pas les véritables cyclones, tels qu'ils naissent au voisinage de l'équateur.

(1) Le coefficient de diffusion de la vapeur d'eau dans l'air est environ 0,22 (C.G.S.) quelle que soit la pression. Le coefficient *cinétique* de frottement interne de l'air est $0,15 \frac{760}{p}$, à la pression p . Tous deux suivent probablement des lois d'accroissement analogues en fonction de la température. Donc, près du sol, la diffusion du mouvement et celle de la vapeur d'eau se suivent à peu près; mais à partir de 2 ou 3000^m, et surtout dans les hautes régions de l'atmosphère (p très petit), le mouvement s'uniformise beaucoup plus vite que la distribution de vapeur d'eau par diffusion simple. Lorsque de nombreuses couches se sont imbriquées les unes dans les autres, le mouvement est devenu régulier et convectif alors que les nuages sont encore bien distincts.

(2) Il suffit, d'ailleurs, de regarder un tracé destiné à montrer comment l'aspiration centrale donne naissance à la rotation cyclonique pour voir sur chacune des trajectoires hypothétiques un point d'inflexion auquel on n'aurait jamais songé si l'on n'avait pas su d'avance le sens de rotation qu'on voulait obtenir.

(3) *Comptes rendus*, 1892.

4. La minutieuse analyse de toutes les combinaisons possibles de zones nuageuses contiguës ne m'a fait rencontrer qu'une circonstance dans laquelle le progrès de la saison transforme une situation stable au point de faire apparaître une surface instable conservant son caractère malgré son développement, capable, par conséquent, de se transporter et de durer longtemps. En été, près de l'équateur, il y a nécessairement, dans les régions océaniques, une zone relativement fraîche et limpide superposée à une zone chaude et nuageuse (n° 95); lorsque le mélange s'effectue, le nuage s'évapore en partie; dans la région où les vents sont exactement perpendiculaires au méridien, le mélange, refroidi et alourdi, tombe à travers la couche chaude jusqu'au sol. Le mélange est limité du côté équatorial par une surface stable, du côté polaire par une surface instable; sa rotation et sa progression sont celles des cyclones, les caractères généraux sont, à mon avis, conformes à ce qu'on sait de ces phénomènes. Mais, comme je ne m'attends pas à ce qu'on accepte d'emblée ce mode de formation des cyclones, je dois avertir que les cyclones tropicaux sont seuls en question. C'est tout à fait abusivement qu'on emploie le même mot pour désigner les cyclones tropicaux nettement coordonnés par rapport à un centre, et les bourrasques des régions tempérées, coordonnées par rapport à une ligne de grain et presque jamais par rapport à un centre (1). Celles-ci n'ont aucun caractère tournant dans leur ensemble; la marche des nuages, celle des pluies, l'état du ciel, la température discontinue, montrent à tout observateur non prévenu que ces bourrasques sont dans leur ensemble des phénomènes rectilignes, des phénomènes des zones contiguës qui s'envahissent mutuellement, mais inégalement, en donnant naissance à des courants dérivés opposés en haut et en bas de l'atmosphère. Dans l'atmosphère ainsi divisée en couches superposées très différentes, des circonstances analogues à celles qui produisent l'instabilité à l'équateur peuvent être réalisées lentement et amener la production des trombes et tornades, très peu étendues en surface et en épaisseur.

Quoi qu'il en soit, je ne regarde pas la théorie du cyclone comme faite, mais seulement amorcée; les méthodes d'étude thermique et dynamique développées dans ce Mémoire peuvent être adaptées sans trop de complications à l'étude des zones convectives limitées en longitude comme en latitude, et des phénomènes qui se produisent en un point quelconque du bord de la zone et se propagent ensuite. J'exposerai, dans un Mémoire ultérieur, ce complément de la théorie actuelle et les résultats qui s'en déduisent.

(1) Voir, en particulier, *On the relation between tropical and extratropical cyclones*, by R. Abercromby (*Proc. R. Soc. London*, t. XLIII, p. 1-30; 1887. Conclusions, p. 28-30, alinéas 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25).

CHAPITRE I.

LA CONDENSATION PAR MÉLANGE D'APRÈS M. VON BEZOLD.

5. Les masses qui se mélangent sont des masses dont la température et l'état hygrométrique peuvent différer, mais dont la pression dans l'atmosphère est la même au moment du mélange, puisque ces masses d'air d'origine différente sont venues au contact; le mélange s'effectue d'abord sans changement d'altitude, par conséquent, la pression se conserve. M. von Bezold étudie la condensation produite dans ces circonstances.

Donc, pendant le mélange, la pression reste constante, et aucune quantité de chaleur n'est fournie ou soustraite à l'ensemble. S'il n'y a pas de condensation, la masse totale de vapeur se répartit uniformément dans la masse totale d'air. Appelons *humidité* de l'air, β , le rapport du poids de vapeur au poids total du mélange gazeux; s'il n'y a pas condensation, l'humidité du mélange β est la moyenne des humidités des composants β_1, β_2 ; car la masse totale de vapeur $m_1\beta_1 + m_2\beta_2$, contenue dans les poids m_1 et m_2 des composants, se répartit uniformément dans la masse entière.

$$\beta = \frac{m_1\beta_1 + m_2\beta_2}{m_1 + m_2}.$$

Nous pouvons négliger les petites différences de chaleur spécifique de l'air humide et de l'air sec. Alors la température t du mélange est égale à la moyenne des températures t_1, t_2 des composants,

$$t = \frac{m_1t_1 + m_2t_2}{m_1 + m_2}.$$

La discussion graphique de l'influence de la proportion $m_1 : m_2$ des deux composants est facile, en prenant pour abscisse la température et pour ordonnée l'humidité. Le lieu des points qui correspondent aux diverses valeurs de $m_1 : m_2$ est alors une droite joignant les points extrêmes.

6. Pour savoir s'il y a condensation ou non, il faut avoir tracé la courbe de l'humidité à saturation pour la pression uniforme H; F étant la tension de

vapeur saturante de l'eau, le poids de 1^{lit} de cette vapeur est

$$0,001293 \times 0,622 \times \frac{F}{760} \frac{1}{1 + \alpha t}.$$

Le poids d'un litre d'air humide est

$$0,001293 \frac{H - \frac{3}{8}F}{760} \frac{1}{1 + \alpha t}.$$

On a donc, pour l'humidité à saturation β_s ,

$$\beta_s = \frac{0,622F}{H - \frac{3}{8}F};$$

et il faut tracer un réseau de courbes β_s , dont chacune répond à une pression totale H particulière : la courbure de toutes ces lignes est de même sens; elles sont convexes vers les hautes températures.

Le rapport de β_s à F n'est pas rigoureusement constant à chaque pression; toutefois, dans les limites qui conviennent aux phénomènes météorologiques, la variation de ce rapport peut être négligée. Au niveau du sol ($H = 760$), ce rapport croît de $\frac{1}{65}$ environ, en passant des plus basses températures ($F = 0$) à la température de 30° ($F = 31,5$). Cet accroissement progressif a encore moins d'importance aux niveaux élevés, parce que les plus grandes valeurs admissibles de F décroissent bien plus vite que la pression. Vers 5000^m par exemple ($H = 400$), l'accroissement relatif du rapport n'est que $\frac{1}{120}$ jusqu'à la température exceptionnelle élevée de 10° ($F = 9$). On peut donc adopter pour β_s le coefficient fixe à chaque pression $\frac{0,622}{H}$, ce qui permet de tracer une seule courbe, celle des tensions de vapeur F , en adoptant une échelle $\frac{H}{0,622}$ fois plus grande pour représenter l'humidité à la pression H .

Pression.	Coefficient $\frac{0,622}{H}$ de F dans β_s .	Échelle de l'humidité $\frac{H}{0,622}$.
760	0,00082	1220
700	0,00089	1120
600	0,00103	970
500	0,00125	800
400	0,00156	641
300	0,00207	483
200	0,00312	321

Considérons donc (*fig. 1*) deux masses d'air primitivement limpides, A et B, dont les humidités sont représentées, à l'échelle qui convient à leur pression commune, par les ordonnées AI, BI. L'humidité du mélange, supposé limpide, est représentée, sur la droite IH, par l'ordonnée d'un point dont l'abscisse est la moyenne des abscisses des composants. Si la droite reste entièrement au-

de la chaleur de condensation, L, par kilogramme d'eau,

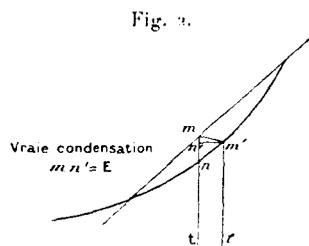
$$C[m_1(t_1 - t) + m_2(t_2 - t)] - (m_1 + m_2)E.L = 0,$$

ou en introduisant la température moyenne auxiliaire t

$$t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2},$$

$$C(t - t) = -EL.$$

D'une part, le point m (fig. 2) d'abscisse t est le point qui définit, sur la droite



Pente et courbure très exagérées.

de mélange, la composition moyenne; d'autre part, la dernière équation montre que la ligne mm', qui joint le point moyen m au point de saturation m' du mélange, est une petite droite dont l'inclinaison sur l'axe des températures est $-\frac{C}{L}$ (1). Dans les limites météorologiques, pour l'eau liquide, L varie de 606 à 584 entre 0° et 30°, c'est-à-dire de $\frac{1}{30}$. La longueur utile de cette droite est si petite que cette différence est négligeable, et l'on peut adopter la même valeur $\frac{0,24}{600}$ soit $\frac{1}{2500}$ dans tout l'intervalle. Pour la glace, on pourra faire de même; mais la pente est un peu plus petite, $\frac{1}{2900}$, la chaleur de fusion 80 devant être ajoutée à la chaleur de vaporisation.

Lorsqu'on se contente d'une seule courbe, celle des tensions de vapeur, la pente doit être multipliée par le coefficient H: 0,622 de transformation des ordonnées, et devient

		Pressions.						
		760.	700.	600.	500.	400.	300.	200.
Pente.	Eau.....	0,488	0,450	0,385	0,320	0,257	0,193	0,128
	Glace.....	0,422	0,388	0,333	0,277	0,221	0,166	0,111

en représentant par des longueurs égales le millimètre de mercure en ordonnée pour F, et le degré centigrade en abscisse.

L'angle de ces droites avec l'axe des abscisses diminue de 25° environ au niveau du sol jusqu'à 6° environ vers 10000^m d'altitude. Ainsi, aux grandes alti-

(1) L'erreur d'évaluation courante est celle qui consiste à regarder toute la hauteur mn comme eau condensée, au lieu de mm' (fig. 2).

tudes, ces éléments de droite peuvent à peine être distingués d'une parallèle à l'axe des températures; on pourra souvent se contenter de mener cette horizontale pour trouver la température finale du mélange; mais, pour en déduire la quantité d'eau condensée, il faudra toujours faire à grande échelle la construction exacte.

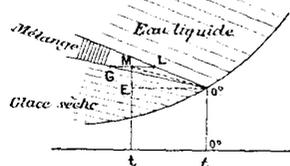
Le changement de pente de la courbe des tensions de vapeur montre de suite que les condensations par mélange auront une importance appréciable aux très basses températures seulement.

8. *Eau et neige* (*fig. 3*). — Je remarquerai seulement que, à la température de la glace fondante, les deux lignes, ayant une pente différente, divergent et laissent un espace vide; il y a donc des mélanges dont la condensation ne peut se faire totalement, ni en eau, ni en glace, et qui, par conséquent, donnent un mélange d'eau et de glace, à la température zéro. La longueur ME donne le poids E condensé en eau et glace, et la pente, du point de jonction au point zéro, donne la proportion d'eau et de glace; elle a, en effet, pour valeur

$$\frac{C}{606 E + 80 G}$$

et le rapport des longueurs GM, GL est égal au rapport du poids de glace à celui de l'eau totale (*fig. 3*).

Fig. 3.



Pentes et courbure très exagérées.

9. La température du mélange nébuleux provenant de composants limpides est un peu supérieure à la température moyenne, de 1° ou 2° au maximum; le mélange occupe donc un volume un peu plus grand que la somme des volumes, et s'élève lentement au milieu du composant le plus léger.

On peut aussi déterminer facilement le maximum de condensation dans les circonstances les plus favorables; en effet, l'inclinaison de la ligne mm' étant fixe, la flèche oblique mm' et sa projection mn' sont proportionnelles (*fig. 2*). Le maximum de condensation arrive en même temps que le maximum de mm' , c'est-à-dire quand la tangente en m' est parallèle à la corde. Comme la courbure de la ligne de saturation s'accroît vers les hautes températures, ce point m' est toujours plus près de l'extrémité supérieure de la corde. Le mélange le plus

favorable à la condensation contient moins du composant chaud que du composant froid, s'ils sont tous deux saturés.

J'emprunte au Mémoire de M. von Bezold quelques nombres :

Précipitation maximum, pour une différence de température de 10°.

	Composants saturés.						
	Pression 700 ^{mm} .			Pression 400 ^{mm} .			
Température du plus froid..	-20	-10	0	+10	-20	-10	0
Proportion du plus froid...	0,57	0,56	0,55	0,54	0,58	0,50	0,47
Précipitation en grammes par kilogramme de mélange...	0,04	0,11	0,19	0,21	2,15	5,1	11,1
Humidité restante.....	1,23	3,03	5,80	11,0			

Mélange saturé, composant froid saturé; limite de condensation.

État hygrométrique minimum du composant chaud.....	0,82	0,85	0,87	0,87	0,85	0,88	0,86
-------------------------------------------------------	------	------	------	------	------	------	------

Mélange saturé, composant chaud saturé; limite de condensation.

État hygrométrique minimum du composant froid.....	0,55	0,47	0,64	0,76	0,48	0,52	0,65
-------------------------------------------------------	------	------	------	------	------	------	------

Pour des différences de température supérieures ou inférieures à 10°, il suffit de se rappeler que la longueur de cordes parallèles, très voisines de la tangente, est à peu près proportionnelle à la différence des températures, et que les flèches croissent comme le carré des longueurs des cordes. Donc, pour une même température moyenne, la précipitation ne sera que le quart de celle du Tableau, si la différence des températures extrêmes est 5°; elle atteindra le quadruple si la différence des températures extrêmes est de 20°. Dans tous les cas, cette précipitation restera extrêmement petite, si elle ne sert pas d'amorce à une précipitation par détente, par refroidissement ou par sursaturation. Mais il peut arriver que l'air des hautes régions de l'atmosphère soit dépourvu de poussière, et qu'il ait atteint et dépassé le point de saturation sans précipitation; le mélange avec une masse d'air de provenance différente et chargée de poussières, aura pour effet de faire cesser la sursaturation, la formation du brouillard sera instantanée et pourra être assez intense si la sursaturation était forte.

10. Lorsque l'un des composants est nuageux et saturé (¹), le point représentatif est au-dessus de la courbe de saturation. La quantité moyenne d'hu-

(¹) On trouvera traité dans le Mémoire de M. von Bezold le cas un peu plus complexe d'une masse brumeuse et non saturée.

midité est encore donnée par l'équation

$$\beta = \frac{m_1 \beta_1 + m_2 \beta_2}{m_1 + m_2}.$$

Mais la température moyenne est donnée par une nouvelle équation calorimétrique où entrent la proportion d'eau initiale E_1 du composant nuageux, représentée par M, N_1 (*fig. 4*), et la proportion finale E ,

$$C[m_1(t_1 - t) + m_2(t_2 - t)] + [m_1 E_1 - (m_1 + m_2) E] L = 0,$$

en supposant le second composant limpide.

Posons

$$t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}.$$

Sur la droite $M_1 M_2$ (*fig. 4*) marquons le point moyen M ; l'ordonnée correspon-

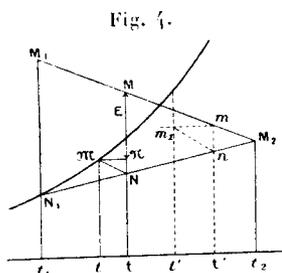


Fig. 4.
Pente, courbure et humidité très exagérées.

dante égale à β et le point N où elle rencontre la droite $N_1 M_2$. MN est égal à

$$\frac{m_1 E_1}{m_1 + m_2};$$

E doit être aussi comptée à partir du point M , vers le bas.

L'équation calorimétrique devient

$$t - t + \left(\frac{m_1 E_1}{m_1 + m_2} - E \right) \frac{L}{C} = 0$$

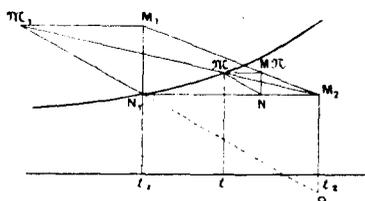
et représente une droite partant du point N avec la pente indiquée pour chaque pression à la fin du n° 7. Cette droite rencontre la courbe de saturation au point π , qui définit la température finale t du mélange. Par le point π menons une parallèle aux abscisses $\pi \pi$; la quantité d'eau restante est $M \pi$. On remarquera que $\pi \pi N$ est un triangle rectangle dont la forme est déterminée.

11. Pour trouver les proportions qui permettent l'exacte évaporation du mélange, menons par N_1 (*fig. 5*) la droite d'inclinaison $L : C$ jusqu'à sa rencontre

avec la ligne d'ordonnée constante β_1 , et joignons le point π_1 , ainsi obtenu au point M_2 .

Cette droite coupe la ligne de saturation au point π , qui définit la température du mélange exactement évaporé, et son humidité. Une parallèle aux abscisses rencontre la droite M_1M_2 au point M ; une parallèle πN à la droite π_1N_1 rencontre la droite N_1M_2 au point N , et les points M, N ont même abscisse, comme il résulte de propriétés des triangles semblables. La construction générale effectuée à partir du point M donne alors le point π confondu avec le point M lui-même, c'est-à-dire l'exacte évaporation. La proportion du composant chaud dans le mélange est donnée par le rapport de N_1N à N_1M_2 .

Fig. 5.



Pente, courbure et humidité très exagérées.

Enfin, lorsque la masse sèche est prédominante, l'évaporation complète laisse le mélange non saturé. La construction en pointillé sur la *fig. 4* correspond à ce cas et fait connaître la température finale t' , à partir de la température moyenne t , et de l'humidité moyenne du mélange.

L'évaporation du composant le plus froid abaisse toujours la température au-dessous de la moyenne des températures composantes; le mélange alourdi tombe.

Sur la *fig. 5*, la droite π_1N_1 , prolongée coupe l'ordonnée du point P au-dessous de l'axe des abscisses. S'il en était ainsi, tous les états possibles d'humidité à la température t_2 étant au-dessus de π_1N_1 , le point final π serait toujours à droite du point N_1 , et la température finale du mélange toujours supérieure à la température du composant le plus froid. Nous allons voir qu'il n'en est pas toujours ainsi.

Si les figures étaient construites à l'échelle, la pente de la ligne π_1N_1 ne dépasserait pas quelques dixièmes. Pour un écart de 20° , elle s'abaisserait donc seulement de quelques millimètres vers les hautes températures. Elle marquera donc toujours, sur l'ordonnée du composant chaud, une humidité peu inférieure à la saturation du composant froid. Nous avons donc à distinguer trois cas principaux.

12 *Premier cas (fig. 6).* — Le composant nuageux est froid; le composant

chaud contient plus de *vapeur* d'eau que le composant froid; plus exactement, le point M_2 est situé au-dessus du point P de la *fig.* 5.

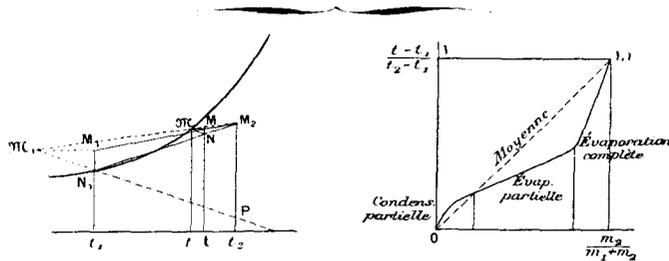
Le mélange est toujours plus chaud que le composant froid.

Lorsque la proportion du composant limpide augmente, il peut y avoir, s'il est très humide, d'abord un petit accroissement de condensation [M_2 au-dessus de la tangente en N, à la courbe de saturation, puis l'évaporation commence, s'accroît, mais sans faire disparaître tout le nuage, jusqu'à d'assez fortes proportions du composant limpide ⁽¹⁾, s'il est presque saturé.

L'allure de l'accroissement de température par addition du composant limpide est représentée dans la *fig.* 6 à droite, avec ses trois phases :

- 1° Accroissement rapide par condensation partielle;
- 2° Accroissement très lent par évaporation partielle;
- 3° Accroissement final très rapide quand l'évaporation est complète.

Fig. 6.



La première phase peut manquer quand le point de rosée diffère peu de la température t_1 .

13. *Deuxième cas (fig. 7).* — Le composant nuageux est froid. Le composant limpide contient moins de *vapeur* d'eau que le composant nuageux; plus exactement, le point M_2 est au-dessous du point P de la *fig.* 5, ce qui exige que l'écart de température $t_2 - t_1$ ne soit pas trop grand ⁽²⁾.

Le point de rosée du composant chaud est très inférieur à t_1 .

⁽¹⁾ Grossièrement, en appelant t_r le point de rosée du composant chaud, la limite est de l'ordre de

$$\frac{m_2}{m_1 + m_2} = 1 - \frac{1}{2500} \frac{t_2 - t_r}{M_1 N_1}$$

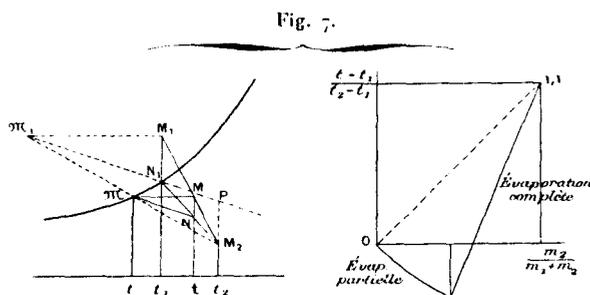
pour l'eau liquide, $M_1 N_1$ étant la proportion en poids d'eau liquide dans l'atmosphère nuageuse.

Par exemple, pour 5^{gr} d'eau par kilogramme d'air, $M_1 N_1 = 0,005$; pour un écart $t_2 - t_r$ de 5°, la limite est de l'ordre de 0,75.

⁽²⁾ Par exemple, sous la pression de 500^{mm} [pente 0,32 (n° 7)], et la température de 5° [tension de vapeur saturante 9^{mm}] pour le composant nuageux froid, ce second cas devient impossible si l'écart $t_2 - t_1$ dépasse 30° environ.

Dès la première addition du composant limpide, l'évaporation abaisse la température du mélange au-dessous de t_1 .

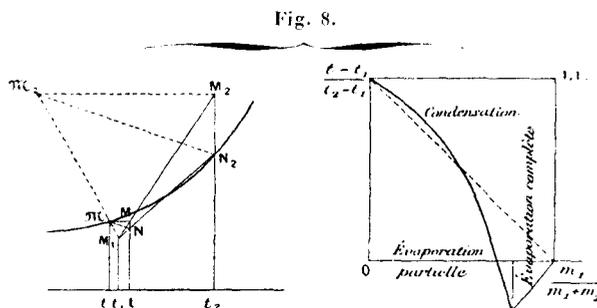
Cet abaissement s'accroît de plus en plus jusqu'à évaporation complète, le point π s'abaissant sur la courbe de vapeur saturante. Puis, dès que l'évaporation est complète, le point qui correspond à la température finale reste à droite



de la courbe de vapeur saturante (voir la deuxième construction, *fig. 4*) et se rapproche très vite de M_2 . Cette allure est représentée sur la *fig. 7* à droite.

14. *Troisième cas* (*fig. 8*). — Le composant nuageux est chaud.

La tangente au point N_2 à la courbe de saturation coupe l'axe des températures à gauche, à une distance comprise entre 15° , 20° ou 25° , petite surtout



aux hautes températures, à gauche du point t_2 . Dès que l'écart de température sera grand, la ligne N_2M , coupera toujours la courbe entre N_2 et M_1 ; même pour un écart de 5° seulement, il faudra que l'air limpide soit très sec, ou la température très basse, pour que la ligne N_2M , soit au-dessous de la tangente en N_2 .

Il y aura donc une série de phases analogue à celle du premier cas. Par addition du composant limpide, la condensation initiale sera à peu près inévitable. Si la différence de température $t_2 - t_1$, est considérable et si le composant chaud est peu nuageux, la température décroît de t_2 à t_1 , sans minimum. On peut se représenter son allure en tournant de 90° la *fig. 6* à droite. Si, au contraire, la

différence de température $t_2 - t_1$, n'est pas très grande, le composant chaud étant très nuageux, la succession des températures sera différente; très peu après le début de la phase d'évaporation, la température du mélange sera inférieure à la température t_1 ; le minimum, toujours supérieur au point de rosée du composant limpide, arrivera au moment de l'évaporation complète; après quoi, la température remontera jusqu'à t_1 . C'est ce que représente la *fig. 8*, à droite.

15. Lorsque les deux composants sont nuageux, la construction auxiliaire se fera comme pour deux composants saturés de mêmes températures t_1, t_2 . Dans ce cas (*fig. 1*, intervalle III, IV), le mélange est un peu plus humide et un peu plus chaud que la moyenne; toutefois l'excès de température est toujours très limité, et la construction montre que, par accroissement de condensation, la température est toujours comprise entre les températures des composants.

16. Résumons les résultats relatifs aux variations de température et de densité.

La condensation par mélange de masses limpides, est toujours très faible. La température du mélange, peu supérieure à la moyenne, est toujours intermédiaire entre les extrêmes. Il en est de même du volume spécifique.

Mêmes résultats quand il y a accroissement de condensation par mélange de masses toutes deux nuageuses, ou l'une nuageuse abondante et l'autre presque saturée.

Lorsque, par le progrès du mélange, la masse limpide devient abondante, la température et le volume spécifique tombent au-dessous de la moyenne, avec un maximum d'écart au moment où l'évaporation est complète; la température la plus basse atteinte par le mélange peut être même très inférieure à celle du composant le plus froid, lorsque la masse limpide est très sèche.



CHAPITRE II.

NAPPES HORIZONTALES SUPERPOSÉES.

17. *Distribution des densités dans l'air sec.* — On sait que, dans l'air sec, qui ne reçoit ni ne perd de chaleur, la hauteur z , en mètres, est liée à la température t et à la densité D par l'équation

$$z = 102,4(t_1 - t) = 102,4(t_1 + 273) - 102,4 \frac{t_1 + 273}{D^{0,4}} D^{0,4}.$$

La densité de l'atmosphère devient nulle à la hauteur de $102,4(t_1 + 273)^m$, soit 25^{km} à 30^{km} suivant que la température est de -25° ou de $+25^\circ$ environ au niveau du sol. Bien entendu, c'est une limite *inférieure* de la hauteur de l'atmosphère, puisque la décroissance adiabatique est la plus rapide qui soit compatible avec la stabilité de l'équilibre. *La distribution adiabatique des températures en hauteur est entièrement déterminée par la température au niveau du sol; mais à une même distribution de températures correspond une infinité de distributions de densités, car celles-ci dépendent de la température et de la densité inférieures.* Prenons donc pour ordonnées les hauteurs, pour abscisses les puissances $0,4$ des densités, $\Delta = D^{0,4}$; la distribution verticale des Δ est représentée par une droite, partant du niveau z_1 de densité nulle, avec une pente A d'autant plus rapide que la densité au niveau du sol est plus faible :

$$(1) \quad \Delta = A(z_1 - z), \quad \Delta_1 = A z_1.$$

18. *Distribution des densités dans l'air nuageux.* — Précisons la forme de la courbe des densités dans le nuage, en supposant la variation de température T linéaire en fonction de la hauteur z :

$$(2) \quad dT = -a dz, \quad T = a(z_1 - z).$$

On a d'ailleurs, pour la condition d'équilibre,

$$(3) \quad dp = -D dz,$$

d'où résulte, dans l'équation du gaz,

$$(4) \quad p = R.T.D,$$

$$(5) \quad \frac{dD}{D} = \frac{-adz}{T} \left(\frac{1}{Ra} - 1 \right) = \frac{-dz}{z_1 - z} \left(\frac{1}{Ra} - 1 \right),$$

ou

$$(6) \quad D = D_1 \left(1 - \frac{z}{z_1} \right)^{\left(\frac{1}{Ra} - 1 \right)}.$$

Dans l'air limpide, en prenant 1,4 comme rapport des chaleurs spécifiques, l'exposant a la valeur constante 2,5; nous retrouvons l'équation (1) qui est rigoureuse

$$z_1 - z = z_1 \left(\frac{D}{D_1} \right)^{0,4} = z_1 \frac{\Delta}{\Delta_1}.$$

Dans l'air nuageux, la détente adiabatique donne une variation de température beaucoup plus lente. Prenons donc a' différent de a ,

$$(7) \quad a' = \frac{1}{k} a, \quad \frac{1}{Ra'} = \frac{k}{Ra} = 3,5k,$$

nous aurons

$$(8) \quad z_1 - z = z_1 \left(\frac{D'}{D_1} \right)^{\frac{1}{3,5k-1}} = z_1 \left(\frac{D'}{D_1} \right)^{0,4\alpha},$$

avec les valeurs de α données par le tableau suivant :

$k = 1,$	$1,5,$	$2,$	$2,5,$	$3,$	$4,$
$\frac{1}{3,5k-1} = 0,4,$	$0,235,$	$0,167,$	$0,129,$	$0,105,$	$0,077,$
$\alpha = \frac{3,5-1}{3,5k-1} = 1,$	$0,588,$	$0,417,$	$0,322,$	$0,263,$	$0,192,$
$k\alpha = 1,$	$0,882,$	$0,834,$	$0,805,$	$0,789,$	$0,768.$

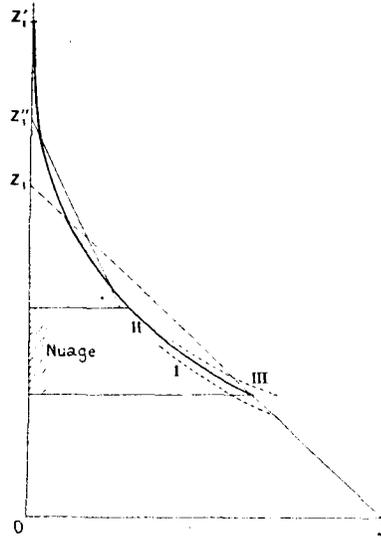
On a donc, avec les mêmes coordonnées que pour l'air sec,

$$(9) \quad \begin{aligned} \Delta' &= (D')^{0,4}, \\ \Delta' &= \Delta_1 \left(1 - \frac{z}{z_1} \right)^{\frac{1}{\alpha}}; \end{aligned}$$

l'exposant $\frac{1}{\alpha}$ est de l'ordre de 2 à 4, au lieu de 1, la décroissance de température étant deux ou trois fois plus lente ($k = 2$ à 3) dans l'air nuageux que dans l'air limpide. La courbe représentative est donc tangente à l'axe des z au niveau supérieur z_1 . Elle est convexe vers l'origine des coordonnées (*fig. 9*).

Ces caractères sont d'autant plus accentués que la décroissance de température est plus lente; ils sont donc exagérés le jour, atténués la nuit, dans la couche supérieure des nuages. Il n'y a pas lieu de préciser davantage la forme de cette courbe; l'hypothèse de la constance du rapport k est acceptable pour une épaisseur nuageuse de plusieurs centaines de mètres, mais non de plusieurs kilomètres, et encore moins pour l'atmosphère entière.

Fig. 9.



19. *Forme de la couche nuageuse.* — Examinons maintenant comment se superposent les masses nuageuses et limpides. La stabilité exige non seulement que l'ordre des densités décroissantes en hauteur soit respecté, mais qu'il le soit *le mieux possible*, eu égard aux échanges adiabatiques possibles. Dans chacune des masses, l'équilibre adiabatique est indifférent; mais il n'en est pas de même à la surface de séparation de la couche nuageuse et de la couche limpide; la loi de décroissance des densités en hauteur change; la courbe représentative change brusquement de direction; la condition de stabilité est que la variation de densité soit la plus rapide possible, c'est-à-dire que l'intérieur de l'angle obtus regarde l'origine, la décroissance la plus rapide étant celle de la couche supérieure.

D'après l'équation (5), on a

$$\frac{dD}{D} = -\frac{adz}{T} \left(\frac{1}{Ra} - 1 \right),$$

d'où, en éliminant T par l'équation (4),

$$(10) \quad -\frac{dD}{D^2} = \frac{dz}{p} (1 - Ra).$$

A la surface de contact, la pression est nécessairement la même; on a donc, en accentuant les lettres relatives à la couche nuageuse, et remplaçant $R\alpha$ et $R\alpha'$ par leurs expressions (7),

$$(11) \quad \frac{-\frac{dD'}{dz}}{\frac{dD}{dz}} = \frac{D'^2}{D^2} \frac{1 - 3,5k - 1}{k - 3,5 - 1} = \frac{D'^2}{D^2 k \alpha}.$$

Or le produit $k\alpha$ diminue lorsque k augmente; égal à 1 dans l'air limpide, ce produit est plus petit que 1 dans l'air nébuleux.

20. *Stabilité sans discontinuité de densité.* — Si la densité n'éprouve pas de changement brusque en passant de l'air au nuage, la condition unique, à la surface inférieure du nuage,

$$\frac{-\frac{dD'}{dz}}{\frac{dD}{dz}} > 1$$

se réduit à

$$D' = D, \quad \frac{1}{k\alpha} > 1,$$

qui est toujours satisfaite d'après le Tableau du n° 19.

La surface inférieure horizontale d'un nuage qui se forme par détente adiabatique dans l'atmosphère est stable.

Ce résultat théorique est absolument conforme à l'observation. Lorsque des cumulus se forment au-dessus d'une plaine étendue, la surface inférieure à laquelle débute la condensation *est et se maintient* plane et horizontale, quelque inégale que soit la forme de la surface supérieure.

Au contraire, la condition de stabilité de la surface supérieure du nuage, qui serait

$$\frac{-\frac{dD'}{dz}}{\frac{dD}{dz}} < 1$$

n'est jamais satisfaite dans la masse en équilibre adiabatique.

Stabilité par discontinuité de densité. — Pour que la surface de séparation de deux nappes calmes soit stable, il faut et il suffit que la nappe supérieure soit la plus légère, lorsque la densité varie brusquement. La forme plane et horizontale est bien la plus stable, mais non la seule; des ondulations, dont l'amplitude est fixée par la différence des densités et leur variation avec la hauteur, sont compatibles avec la stabilité statique, et l'on conçoit bien que la

stabilité dynamique maxima appartienne à telle ou telle forme ondulée lorsque les deux nappes sont animées de vitesses faibles mais différentes.

21. *Cumulus*. — Le nuage, dont la densité décroît plus vite que celle de l'air sec en hauteur, s'élève, se bombe par places, laissant l'air sec descendre à côté de lui, et il s'établit une circulation verticale ascendante dans le nuage, descendante au dehors, qui porte le sommet du nuage aux plus grandes hauteurs. Sans entrer dans la description détaillée des dissymétries causées par le rayonnement solaire, j'insisterai sur le fait que le sens de la circulation est commandé par la détente adiabatique; le rayonnement solaire l'accélère; le rayonnement nocturne ne fait que le ralentir et doit être intense pour l'arrêter ou le renverser; le moindre voile nuageux dans les régions supérieures de l'atmosphère suffira à empêcher le renversement. Or ce voile est une conséquence forcée de l'instabilité supérieure (n° 28). Lorsqu'une journée claire, en été, permet la formation des premiers cumulus, ceux-ci s'élèvent, se maintiennent élevés tout le jour, s'abaissent et s'évaporent dans l'air le soir et la nuit, recommencent à grandir le lendemain et les jours suivants, jusqu'à ce qu'ils atteignent la surface supérieure de la masse d'air dans laquelle ils se forment. Si cette masse d'air a une hauteur limitée, la couche supérieure est nécessairement plus légère, et il y a une diminution brusque de densité en pénétrant dans cette couche (*fig. 9*).

22. *Formes stratifiées*. — Si le haut des cumulus atteint ce niveau sans grande vitesse verticale, il s'y écrase, s'étale au-dessous en voile léger, mais ne le pénètre pas, et cette couche peut évidemment être stable, grâce à la brusque diminution de densité.

Mais, si le mouvement ascendant du cumulus est encore puissant, si la variation brusque de densité est faible, le haut du cumulus peut pénétrer la couche supérieure et y former une couche nuageuse étalée au-dessus de la calotte inférieure et appartenant à la nappe atmosphérique supérieure. Le soir venu, les cumulus décroissants se sépareront de la couche bien stable qui les surmonte; désormais, cette couche nuageuse appartient à la nappe aérienne supérieure dont elle occupe la base et suit les mouvements sans trop changer de caractère. Suivant que les cumulus étaient serrés ou espacés, la couche nébuleuse mince affectera l'une ou l'autre des formes stratifiées non filamenteuses, depuis le ciel finement pommelé, à pommelures espacées, jusqu'au ciel craquelé dont les parties minces sont à peine visibles, et au voile presque uniforme.

Les bancs très étendus de contour irrégulier, à pommelures fines au bord, larges et serrées au centre, viennent de régions couvertes de cumulus, et l'imagination qui y voit des golfes et des caps n'est pas absolument trompeuse; ce sont bien les contours de la plaine humide qui ont limité l'aire d'évaporation

intense, et imposé au nuage entier son aspect. Chaque jour ne détache probablement qu'un seul banc semblable, et quand on voit plusieurs de ces bancs, de forme irrégulière, se succéder dans le cours d'une même journée, on a peut-être le droit de conclure que le courant qui les emporte s'est accéléré depuis le lieu de formation, avec toutes les conséquences qui en résultent au sujet de la distribution des aires de haute pression et des courants qui les contournent.

23. *Formes ondulées.* — A la séparation de deux nappes limpides, la loi de variation de la densité en hauteur est sensiblement la même

$$k\alpha = 1, \quad \frac{-\frac{dD'}{dz}}{\frac{dD}{dz}} = \frac{D'^2}{D^2},$$

car la différence relative des densités est toujours très petite; une variation brusque de température de 5° serait déjà grande; le second membre serait 0,96 au lieu de 1; c'est une dissymétrie inappréciable; les ondes seront donc symétriques de part et d'autre du plan moyen; les crêtes et les creux auront même courbure; d'ailleurs invisibles directement si les deux masses sont loin de leur point de saturation, ces ondulations amples et lentes pourraient être suivies au moyen d'observations méthodiques et continues de quelque mire éloignée; mais les astronomes et les géodésiens se sont préoccupés jusqu'ici de les éliminer, et non de les étudier.

Lorsque la nappe supérieure est nuageuse, à moins que l'excès de température n'atteigne près de 30°, la différence dans le décroissement de densité est très marquée; même pour des températures qui diffèrent de 5°, les valeurs de $k\alpha$ données ci-dessous montrent que le rapport $-\frac{dD'}{dz} : -\frac{dD}{dz}$ peut atteindre 1, 2 à 1, 3. Les ondulations auront donc le caractère de la houle marine : crête aiguë et courte, creux long et plat.

Tout le monde a pu observer les nuages en couches épaisses présentant ce caractère, qui fait comparer leur surface inférieure à une longue succession de rouleaux tangents, et leur fait donner le nom de *nuages en rouleaux*. Cette forme est l'indice de nuages plus chauds que l'air sous-jacent, et qui, malgré l'apparence menaçante, passent pendant des journées entières sans donner une goutte d'eau. Non seulement, ils empêchent le refroidissement nocturne, comme on le dit d'ordinaire, à la façon d'un édredon, mais ils nous réchauffent directement comme une paroi d'étuve. Tant que l'air nébuleux reste le plus léger, tant que l'amplitude est très éloignée de la limite de stabilité statique, ce caractère se conserve, surtout si le courant nébuleux marche vers les régions chaudes.

La nappe supérieure des nuages présentera le caractère inverse par rapport

au zénith, le même caractère par rapport au nuage; les creux seront aigus, les crêtes longues et arrondies; la surface du nuage aura le même aspect renversé. C'est bien ce que représentent ou décrivent tous les aéronautes.

Si la nappe nuageuse intercalée entre deux couches d'air de température différente est mince, les arêtes aiguës des deux séries d'ondes de la surface supérieure et de la surface inférieure pourront se rapprocher beaucoup, ou même se rejoindre, ou s'entrecroiser. Ces stries, dans une masse nuageuse basse, indiquent l'existence d'un courant supérieur au nuage, distinct, plus chaud, et dont la direction est grossièrement perpendiculaire au système de stries le moins net.

24. *Limite d'amplitude des ondulations.* — Les limites d'amplitude compatibles avec la stabilité statique sont énormes. Dans la couche d'air qui, au niveau Z , a la densité D , la densité, au niveau $Z - \lambda$, est *sensiblement*

$$D + \lambda \frac{dD}{dz}.$$

Dans l'autre couche, au même niveau, la densité est

$$D' + \lambda \frac{dD'}{dz},$$

et nous trouverons, d'un seul côté, une limite d'amplitude compatible avec l'équilibre statique, en cherchant le niveau d'égale densité, que donne l'équation

$$D + \lambda \frac{dD}{dz} = D' + \lambda \frac{dD'}{dz},$$

ou, en tenant compte de l'équation (11),

$$\lambda = \frac{D - D'}{\left(-\frac{dD}{dz}\right)\left(\frac{D'^2}{D^2 k \alpha} - 1\right)}.$$

Couches limpides. — Pour deux couches d'air limpides, $k\alpha = 1$, on obtient

$$\lambda = -\frac{D}{D + D'} \frac{D}{\left(-\frac{dD}{dz}\right)},$$

et, en tenant compte de la formule (5) du n° 18,

$$\lambda = -0,2(z_1 - Z),$$

l'amplitude limite, *vers le haut*, à peu près indépendante de la différence de den-

sité des deux couches, serait environ les deux dixièmes de la distance de la surface de séparation au niveau supérieur de l'atmosphère adiabatique, soit plus de 4^{km} ou 5^{km}.

Une couche nuageuse. — Pour une nappe d'air nébuleux et une nappe limpide sous-jacente, il vient de même

$$a' = 0,1(z_1 - Z) \frac{k\alpha z'}{\frac{D + D'}{D} + (1 - k\alpha) \frac{D}{D - D'}}$$

Cette amplitude est *nulle* lorsque les densités D et D' des deux couches, limpide et nébuleuse, sont les mêmes. Lorsque la couche nébuleuse est animée d'une translation différente de la couche limpide sous-jacente, l'amplitude limite de stabilité statique est nulle. Nous reviendrons bientôt sur ce cas.

Lorsque la couche nébuleuse a une densité différente de la couche limpide superposée, l'amplitude limite, *vers le bas*, est beaucoup moindre que pour deux couches limpides; elle dépend de la différence des densités et croit indéfiniment avec elle ⁽¹⁾. Par exemple, pour un excès de température de 10° à 15° déjà énorme, on aurait environ $D - D' = 0,05 D$, d'où

$$a' = 0,1(z_1 - z),$$

soit 2^{km} ou 3^{km}. Même pour 4° ou 5° d'écart, l'amplitude limite atteint près de 1^{km} et laisse une large marge aux ondulations stables. Tous ces caractères sont nettement visibles sur les courbes en z et Δ (*fig. 9*), en se rappelant que la pression est continue, et que le niveau supérieur de l'atmosphère est d'autant plus élevé que la densité est moindre.

Voyons maintenant comment la stabilité disparaît.

25. *Surface inférieure d'un nuage qui se refroidit. Pluies nocturnes. Pluies continues d'automne et d'hiver.* — Lorsqu'une masse nuageuse, d'abord plus chaude que l'air sous-jacent, se refroidit plus vite que l'air, soit par rayonnement nocturne, soit par progression vers les régions froides, la densité, d'abord moindre que celle de l'air (courbe I), égale puis dépasse celle de l'air (II, III) (*fig. 9*). Mais dès qu'il en est ainsi, le niveau d'équilibre stable surmonte la surface de séparation, un rapide mélange s'effectue entre une mince couche d'air limpide et la petite épaisseur instable du nuage; ce mélange progresse à mesure que le nuage se refroidit, et le niveau d'équilibre s'élève progressivement dans la masse nuageuse qui s'amincit.

(1) Le maximum que semble indiquer la formule tient à son caractère approximatif.

Que devient le mélange? Si l'air chaud sous-jacent est presque saturé (n° 12), la condensation augmente, allège un peu le mélange et le maintient en brume diffuse sous le nuage.

Mais, si l'air est sec sous le nuage (n° 13), l'évaporation partielle alourdit le mélange, qui tombe et ne trouve son équilibre qu'à un niveau notablement inférieur au nuage. Il se forme donc sous le nuage une nappe de brume à demi limpide, et à la base de celle-ci flottent des lambeaux de nuages minces et sans forme (*fig. 7*). Alourdi par l'évaporation partielle, le mélange tombe en même temps dans l'air limpide et y forme des nuelles toujours plus lourdes que l'air qui les entoure; l'évaporation par mélange est hâtée par la compression adiabatique due à la chute; même évaporé, le mélange reste plus froid que l'air dans lequel il tombe. Il se produit donc, dans le nuage, un grand nombre de circulations locales, avec chute rapide d'air froid jusqu'au sol, et, quand l'humidité est devenue assez grande, condensation de nuelles par détente dans la partie ascendante du circuit. Le mouvement se continue tant que dure le refroidissement du nuage; le niveau de saturation s'abaisse et le nuage entier descend lentement en une petite pluie fine et continue.

C'est la pluie d'automne en Bretagne, que rien n'arrête et qui refroidit régulièrement le sol. C'est aussi le mécanisme des pluies de la fin de la nuit, lorsque la masse nuageuse venant de l'équateur (du Sud-Ouest en Europe) n'a qu'un faible excès de température sur l'air pendant le jour.

Ces nuelles, sous une nappe basse et uniformément grise, sont l'indice certain de la basse température du nuage; une pluie continue est imminente.

Cirrus pommelés. — Le même mécanisme explique la formation, vers la fin du jour, de nappes peu étendues de très fines pommelures blanches, bien au-dessous d'un voile de cirrus continu et à ses dépens.

26. *Surface supérieure d'un nuage qui se réchauffe.* — Sous l'air limpide des hautes régions, les couches nuageuses sont froides et stables, l'hiver ou la nuit; mais lorsque vient l'été ou le jour, le nuage se réchauffe plus vite que l'air, et la surface supérieure devient instable. Deux phénomènes distincts sont possibles, suivant la rapidité du réchauffement.

27. *Réchauffement lent. Pluies froides diurnes. Pluies continues du printemps.* — Si le réchauffement est lent et progressif comme à la surface d'un courant nuageux qui s'éloigne du pôle, ou à la surface d'une nappe nuageuse stationnaire à la fin de l'hiver, les mélanges ont tout le temps de se produire. L'instabilité de la surface supérieure a pour conséquence un échange avec mélange d'une mince couche d'air limpide froid et de nuage; si le nuage est très chargé d'eau, avec une faible différence de température (n° 14), l'évaporation, même

incomplète, abaisse la température du mélange au-dessous de la plus basse température des deux composants. Plus lourd que les composants, ce mélange froid tombe au milieu du nuage; le refroidissement produit par son contact précipite la condensation et tout le haut du nuage est ainsi agité d'un mouvement de mélange qui rétablit, à la vérité, la stabilité de la surface supérieure refroidie, mais qui détruit la stabilité dans l'intérieur du nuage. La nappe refroidie gagne vers le bas, et tout le nuage finit par se refroidir et tomber en pluie très froide (par évaporation partielle), continue, sans rafales, et intense, car toute l'épaisseur du nuage y participe.

Ce sont les pluies intenses qui dégagent temporairement le ciel après un hiver couvert. Ce sont les pluies de jour, en toute saison, par courant venant des régions froides (du Nord-Ouest en Europe).

28. *Réchauffement rapide. Formation des hautes nappes de cirrus épais.* — Lorsque le réchauffement est intense et rapide, le nuage, même partiellement évaporé par mélange d'air limpide, reste plus chaud que cet air et monte, mais pas indéfiniment. Il résulte, en effet, de la continuité de la pression que le niveau supérieur Z_1 (fig. 9) de la couche nuageuse serait bien plus élevé que celui de l'air limpide qui la surmonte, Z_1'' . Les courbes représentatives des densités de l'air limpide et de l'air nuageux se coupent donc très haut, près de Z_1'' . A ce niveau, l'équilibre est encore possible, et il est stable pour la surface supérieure d'une nappe nuageuse provenant adiabatiquement de la nappe inférieure. Nous avons déjà examiné (n° 21) le cas où les cumulus étant très hauts atteignent ce niveau même et donnent les nappes de cirro-stratus pommelées à partir de leur sommet.

Examinons maintenant le cas où ce niveau est très éloigné de la surface supérieure du nuage. Au début de l'action solaire, la surface supérieure du nuage reste encore stable; mais elle est partiellement vaporisée. La vapeur légère ainsi produite s'élève rapidement à travers la couche d'air limpide, commence à s'y condenser, par détente presque adiabatique, et continue à s'élever jusqu'au niveau très élevé, voisin de Z_1'' , où la surface supérieure de la nuelle intercalée est stable; ces nuelles, qui n'ont pas de surface inférieure stable et définie, tant que dure le réchauffement solaire, sont extrêmement minces; plus tard, ces nuages deviennent plus denses, et partent du haut du nuage bas; ils sont formés aux dépens de toute l'épaisseur que le réchauffement solaire a rendue instable. Ces traînées ascendantes partant de chaque crête d'ondulation de la nappe nuageuse montent, à peu près verticalement ou obliquement, suivant la rapidité du courant limpide supérieur. Elles sont fréquemment visibles au printemps, au bord d'une nappe nuageuse étendue, et mieux encore quand

elles émanent de nombreux petits cumulus distincts. La trace que laisse un grossier balai dans la poussière d'une route en rappelle assez l'aspect (1). Enfin, le soir ou pendant la nuit la couche mince de cirrus peut former un voile continu, d'une certaine épaisseur, stable aux mêmes conditions que le nuage bas.

(1) Ce sont quelques-uns des nuages d'*interfret* de Ley.

CHAPITRE III.

ATMOSPHERE EN ÉQUILIBRE CONVECTIF. SUBDIVISION EN ZONES. EXPOSÉ GÉOMÉTRIQUE DE LA THÉORIE D'HELMHOLTZ.

29. Lorsque les couches d'air contiguës, limpides ou nuageuses, sont animées de vitesses très différentes, leur mouvement par rapport à la Terre prend, à cause de la rotation de notre globe, un caractère plus compliqué que celui qui vient d'être étudié au Chapitre précédent. On sait d'une manière générale quelles forces auxiliaires, apparentes, doivent être introduites pour tenir compte de cette rotation, et de nombreux météorologistes ont, depuis Ferrel, publié d'importants travaux sur ce sujet. Mais leur point de vue était très différent du mien. Ce que je veux étudier, ce sont les surfaces de discontinuité de vitesse, de température et de nébulosité, dans un cas particulier seulement. Les méthodes analytiques permettent d'aborder la question complexe, pour des aires limitées en longitude, et des zones contiguës dont les mouvements sont permanents, sans être ni uniformes, ni parallèles; mais il est clair que l'on peut déjà beaucoup apprendre par l'étude des zones annulaires, à mouvements uniformes et parallèles, de leurs conditions de permanence ou de destruction. Ainsi simplifiée, la question peut être traitée par des méthodes géométriques élémentaires, au moyen desquelles nous allons d'abord retrouver et compléter les résultats d'Helmholtz pour les zones limpides, et découvrir toute une série de résultats nouveaux pour les zones nuageuses.

30. *Distribution des vitesses angulaires.* — Dans un anneau en équilibre convectif, les surfaces d'égale pression sont de révolution autour de l'axe de rotation. Donc toutes les forces, attraction newtonienne et poussée résultant des différences de pression, sont dirigées vers l'axe de rotation. Dans le mouvement projeté sur le plan équatorial, les forces sont centrales, et chaque masse mobile obéit au principe des aires de Képler : le produit de la vitesse angulaire α par le carré de la distance r à l'axe demeure invariable pendant le mouvement.

Mais l'équilibre convectif, indifférent aux très petites causes de trouble, n'est pas troublé par l'échange de deux masses égales prises en deux points quelconques de la zone. Il faut pour cela que l'aire caractéristique du mouvement

des deux masses soit la même. Ainsi, *dans un anneau complet en équilibre convectif, la vitesse angulaire varie en raison inverse du carré de la distance à l'axe.* Au lieu d'être la même à toute distance, comme dans un solide tournant, la vitesse angulaire est variable, petite loin de l'axe, grande près de l'axe, infinie sur l'axe même, à moins que la constante des aires n'y soit nulle.

Pour nous représenter le mouvement dans un tel anneau, comparons-le au mouvement d'un fluide assez visqueux pour être entraîné, comme un solide, d'un mouvement angulaire, a , uniforme à toute distance, ce qu'on appelle, en Géographie ou en Géodésie, les *eaux tranquilles*. Sur un parallèle de rayon r , la vitesse linéaire d'un point de l'anneau est $\frac{\Lambda}{r^2} \times r$ ou $\frac{\Lambda}{r}$, tandis que la vitesse des eaux tranquilles est ar ; soit r_1 le rayon du parallèle pour lequel ces deux valeurs sont égales

$$\frac{\Lambda}{r_1} = ar_1;$$

à la distance r de l'axe, la différence $\frac{\Lambda}{r} - ar$ est égale à

$$a \frac{r_1^2 - r^2}{r} \quad \text{ou} \quad a \frac{r_1 + r}{r} (r_1 - r).$$

Extérieurement au rayon r_1 , l'anneau se meut plus lentement que le globe de comparaison; il souffle donc en vent inverse de la rotation du globe.

Le long de ce globe même, le vent du bord équatorial de l'anneau est inverse et celui du bord polaire est direct. Ce bord est d'ailleurs le bord équatorial d'un autre anneau voisin, dont la latitude est plus élevée. Près de la surface de séparation de deux anneaux contigus règnent côte à côte un vent direct du côté équatorial et un vent inverse de l'autre côté.

31. *Distribution des forces centrifuges et des pressions.* — Pour qu'un corps de masse m décrive une circonférence de rayon r avec une vitesse angulaire a , il faut que les forces auxquelles il est soumis se composent en une résultante dirigée vers le centre et égale à ma^2r . Dans un corps solide, a est constant, cette force croît avec la distance à l'axe. C'est tout le contraire dans l'anneau en équilibre convectif, où l'on a, en appelant Λ l'aire caractéristique de l'anneau,

$$a = \frac{\Lambda}{r^2}, \quad f = m \frac{\Lambda^2}{r^3};$$

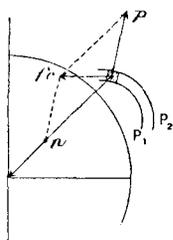
la force centrifuge f dans l'anneau est proportionnelle au carré de l'aire caractéristique, et en raison inverse du cube de la distance au centre. Elle décroît très vite en s'éloignant du centre.

Pour définir la forme des surfaces d'égale pression dans l'anneau, nous les

comparerons à la surface d'équilibre du globe central qui tourne avec la vitesse angulaire uniforme, a , et aux surfaces parallèles.

Les surfaces d'égalité de pression étant de révolution autour de l'axe, il suffit d'examiner ce qui se passe dans un plan méridien (*fig. 10*). Traçons donc la

Fig. 10.



coupe de deux surfaces d'égalité de pression voisines par un plan méridien. Les pressions étant perpendiculaires aux faces auxquelles elles s'appliquent, un petit cylindre gazeux de masse m compris entre les deux surfaces P_1 , P_2 subit une action p perpendiculaire à la direction commune de ces surfaces; il subit en outre une attraction newtonienne mN égale à n , et, dans l'état permanent, ces deux forces p , n doivent se composer en une résultante f perpendiculaire à l'axe et égale à $\frac{m\Lambda^2}{r^3}$ ou $\frac{ma^2r_1^4}{r^3}$, en appelant r_1 le rayon de calme.

Sur la même masse, soumise à la même attraction n , entraînée avec le globe, la résultante de même direction serait ma^2r , et la direction des surfaces d'égalité de pression serait différente.

La construction montre avec évidence que, du côté extérieur, quand f diminue, la résultante des pressions p se rapproche de la direction exactement opposée à l'attraction, et inversement.

L'excès $ma^2r\left(1 - \frac{r_1^4}{r^4}\right)$ de la force centrifuge dans l'équilibre convectif sur la force centrifuge dans la rotation d'ensemble, est nul sur le parallèle de calme, positif du côté équatorial ($r > r_1$) où le vent souffle à l'opposé de la rotation du globe, négatif du côté polaire ($r < r_1$) où le vent souffle dans le sens de la rotation du globe. Donc, du bord équatorial au bord polaire de l'anneau en équilibre convectif, les normales p tournent d'un angle plus grand que sur le globe animé d'un mouvement d'ensemble. *Les surfaces d'égalité de pression sont plus concaves vers le centre que la surface du globe. Elles lui sont tangentes seulement le long du parallèle de calme.*

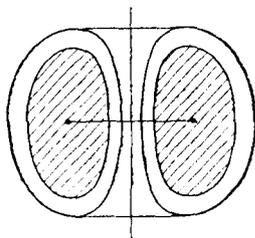
32. *Tube axial en repos.* — Entre la région de calme et l'axe, la surface d'égalité de pression finit même par se retourner et présenter sa convexité à l'axe. En effet, quelle que soit la distribution de la matière, l'attraction newtonienne ne grandit

pas indéfiniment à mesure qu'on se rapproche de l'axe, bien au contraire, tandis que la force centrifuge devient infinie sur l'axe. De là résulte que, tout près de l'axe la résultante apparente finit par être dirigée dans le sens des rayons croissants.

Les surfaces d'égalité de pression complètes sont donc des tores emboîtés les uns dans les autres (*fig. 11*), de densité décroissante, depuis le cercle axial vers l'extérieur.

La forme exacte de ces tores dépend de la distribution de l'attraction newtonienne et par conséquent de la distribution de la matière et de sa loi de compressibilité; quelle que soit cette loi, il y a nécessairement le long de l'axe de rotation un tube inaccessible à la matière de cet anneau en équilibre convectif.

Fig. 11.



Il peut cependant y avoir de la matière gazeuse le long de l'axe; mais elle forme une colonne en équilibre convectif soumise à la condition que la vitesse linéaire d'un point situé sur l'axe soit nulle, que, par conséquent, la vitesse angulaire soit finie, ce qui exige que l'aire caractéristique soit nulle. Cette colonne est donc privée de tout mouvement de rotation au voisinage de l'axe, et en particulier dans les régions polaires; la matière gazeuse ne peut pas y avoir de mouvement de rotation, si elle est en équilibre convectif.

Cette colonne en repos peut d'ailleurs occuper toute la longueur de l'axe, ou reposer sans frottement près des pôles sur un globe tournant comme un solide.

Dans les régions polaires, la vitesse linéaire relative du globe et de la calotte immobile croît à mesure qu'on s'éloigne du pôle et finit, nécessairement, par entraîner la matière gazeuse qui le surmonte. Il se forme donc nécessairement, à quelque distance du pôle, une zone annulaire distincte de la colonne polaire, et animée d'un mouvement de rotation de même sens que le globe intérieur, mais probablement plus lent, puisqu'elle confine à une colonne immobile et que les mélanges avec celle-ci doivent la retarder. Pour les mêmes raisons, cette première zone doit être entourée d'une seconde, d'une troisième, etc., dont les vitesses de rotation vont croissant à mesure qu'on se rapproche de l'équateur. Enfin, s'il y a une certaine permanence moyenne dans la

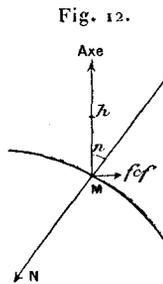
distribution des vitesses, la zone équatoriale, retardée par le mouvement plus lent des deux zones contiguës, doit être, elle aussi, entraînée par le globe central et, par conséquent, tourner moins vite que lui.

Nous sommes ainsi conduits à cette conséquence : *une atmosphère gazeuse pesante, reposant sur un globe poli en rotation, se divise en anneaux concentriques, dont le mouvement angulaire est de plus en plus rapide depuis la calotte polaire jusqu'à l'anneau équatorial. Le globe central tourne plus vite que l'anneau équatorial.*

Les rayons de calme des anneaux successifs vont évidemment en croissant à mesure qu'on approche de l'équateur, mais les considérations qui précèdent nous montrent que le rayon de calme se trouvera toujours plus éloigné du bord équatorial de l'anneau sur le globe central que de son bord polaire; le mouvement relatif opposé au mouvement d'ensemble du globe sera toujours plus important que le mouvement direct. Si même le rayon de calme devient intérieur au bord polaire de l'anneau, tout l'anneau superficiel aura un mouvement relatif de sens opposé à la rotation d'ensemble du globe. Donc, pour une enveloppe gazeuse de peu d'épaisseur, la partie utile des surfaces d'égale pression est d'autant plus concave vers le globe que le rayon de calme est plus petit (la force centrifuge étant plus grande).

33. *Forme de la surface de séparation de deux anneaux contigus.* — La surface de séparation est telle que la pression ait la même valeur de part et d'autre de cette surface dans les couches contiguës; elle est donc donnée par l'intersection des surfaces d'égale pression ayant même cote dans les deux anneaux. Elle est stable si la différence des pressions, de part et d'autre, ramène vers la surface d'équilibre.

Connaissant un point d'une surface de séparation, on peut en trouver facilement un second et, par conséquent, trouver l'inclinaison de cette surface sur l'horizon, lorsqu'on connaît les densités et les rayons de calme des deux anneaux.



Le long d'une parallèle à l'axe de rotation (*fig. 12*) l'écart de deux surfaces de niveau ayant une différence de cote déterminée est indépendant du rayon

de calme, puisque la force centrifuge est perpendiculaire à cette direction. Soient donc ρ la densité, N l'attraction newtonienne, n l'angle de l'attraction newtonienne avec la ligne des pôles, p la différence de cote des deux surfaces de niveau, dont la distance comptée sur la direction polaire est h . On a

$$p = \rho \cdot h N \cos n,$$

ou

$$h = \frac{p}{\rho \cdot N \cos n}.$$

34. Dans la direction de l'attraction newtonienne, l'écart H des surfaces de niveau dépend de l'excès \varkappa de l'attraction newtonienne N sur la projection

$$\frac{a^2 r_1^4}{r^3} \sin n$$

de la force centrifuge ⁽¹⁾, et l'on a

$$H = \frac{p}{\rho \left(N - \frac{a^2 r_1^4}{r^3} \sin n \right)} = \frac{p}{\rho \cdot \varkappa}.$$

D'ailleurs, en un même point M , les forces centrifuges ne diffèrent que par le rayon de calme r_1 . La résultante \varkappa la plus grande correspond au plus petit rayon de calme.

La résultante apparente à la surface des eaux tranquilles, au même lieu, est $N - a^2 r \sin n$; c'est l'intensité de la pesanteur g au même point; on a donc

$$\frac{\varkappa - g}{g} = \frac{a^2 r_1 \sin n}{g} \left(1 - \frac{r_1^4}{r^4} \right).$$

Nulle au pôle ($r = 0$, $n = 0$), cette différence est maximum à l'équateur, où le premier facteur a la valeur 0,0036 environ. Le second facteur est toujours petit; mais avec des vents forts il peut atteindre un ou plusieurs dixièmes.

Valours de $1 - \frac{r_1^4}{r^4}$.

Vitesse du vent	$\pm 10,00$	$\pm 20,00$	$\pm 50,00$	$\pm 100,00$
Équateur	$\pm 0,04$	$\pm 0,08$	$\pm 0,20$	$\pm 0,44$
Latitude 60°	$\pm 0,08$	$\pm 0,36$	$\pm 0,44$	$\pm 0,61$
				ou $\pm 1,06$

A moins de vents extrêmement violents, les résultantes \varkappa_1 , \varkappa_2 , relatives à deux anneaux contigus (1) et (2), ne différeront donc que de quelques dix-millièmes de leur valeur, et chacune des surfaces d'égalité pression est presque horizontale.

⁽¹⁾ Je ne discuterai dans le texte que le cas où l'attraction l'emporte. Dans les régions très voisines de l'axe, l'inverse a lieu; la discussion est tout aussi facile; la condition de stabilité est alors que la plus faible densité soit du côté de l'axe.

35. Cela posé, soient ρ_1, ρ_2 les densités de deux anneaux contigus, dont les rayons de calme sont $r_1, r_2, (r_1 > r_2)$; on a

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{h_1}{h_2} \frac{\partial \zeta_2}{\partial \zeta_1};$$

et $\frac{\partial \zeta_2}{\partial \zeta_1} > 1$ donne $\frac{H_1}{H_2} > \frac{h_1}{h_2}$.

Si le point M appartient à la surface de séparation, les distances h_1, H_1 et h_2, H_2 déterminent, dans le premier et le second anneau, les surfaces de même pression, inférieure de p à la pression au point M. L'intersection des deux droites h_1, H_1, h_2, H_2 détermine un second point M' de la surface de séparation.

La distribution des pressions le long d'une parallèle à l'axe de rotation étant indépendante de la vitesse de rotation, la condition ordinaire de stabilité, que l'anneau le plus dense soit en bas, doit être rapportée à cette direction.

1° L'anneau 1, qui a le plus grand rayon de calme, est le plus léger

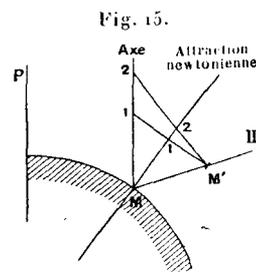
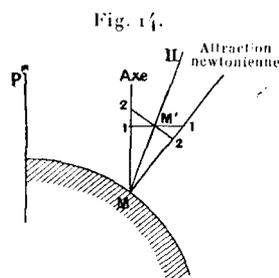
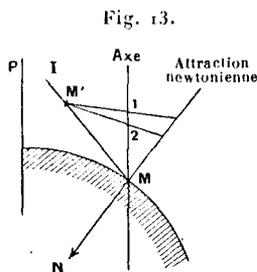
$$\frac{H_1}{H_2} > \frac{h_1}{h_2} > 1,$$

le point d'intersection se trouve du côté polaire. La surface de séparation monte du côté polaire, mais reste au-dessous du pôle. Elle est stable si l'anneau de moindre densité, qui a le plus grand rayon calme, se trouve du côté équatorial, instable dans le cas contraire (type I, fig. 13).

2° La densité des deux anneaux est la même :

$$h_1 = h_2.$$

La surface de séparation est un cylindre concentrique à l'axe de rotation; elle est stable si l'anneau qui a le plus grand rayon de calme (et la moindre pesanteur apparente) est du côté équatorial.



3° L'anneau 1, qui a le plus grand rayon de calme, est le plus lourd :

$$\frac{h_1}{h_2} < 1.$$

Si la différence des densités est extrêmement faible et la différence des rayons de calme grande, on a encore

$$\frac{H_1}{H_2} > 1.$$

Le point d'intersection M' est entre la ligne des pôles et la verticale; la surface de séparation monte du côté du pôle, mais au-dessus; elle est stable si l'anneau 2 de moindre densité, qui a le plus petit rayon calme, est situé du côté polaire (type II, *fig.* 14). Mais ce cas est extraordinairement rare, car il exige que des différences de vitesse de vent de 50^m ou 100^m par seconde soient associées à des différences de température de moins de $\frac{1}{10}$ de degré.

A une distance un peu grande de l'axe, \varkappa_2 et \varkappa_1 tendent vers la même valeur et l'on a, pour toute différence de densité,

$$\frac{h_1}{h_2} < \frac{H_1}{H_2} < 1;$$

le point d'intersection est du côté de l'équateur. La surface de séparation monte du côté de l'équateur; elle est stable si l'anneau 2 le plus léger, qui a le plus petit rayon de calme, se trouve du côté polaire (type III, *fig.* 15).

4° A grande distance de l'axe, l'attraction newtonienne varie à peu près en raison inverse du carré de la distance au centre; la force centrifuge, qui varie en raison inverse du cube, devient négligeable quel que soit le rayon de calme. D'ailleurs, à grande distance, la vitesse angulaire devient très petite, et la matière se distribue comme si elle ne tournait pas; lorsqu'elle s'étend au loin dans le plan équatorial, la surface de séparation prend donc la forme d'une sphère centrée sur le centre de gravité, stable lorsque la matière lourde est intérieure.

En résumé, une inclinaison de la surface de séparation sur l'horizon de l'ordre d'une dizaine de degrés suppose déjà une bien petite différence de densité associée à une grande différence de vitesse. En général, la pente, d'un côté ou de l'autre, sera beaucoup moindre.

Le changement de signe de la différence des densités correspond à la surface dirigée vers le pôle; c'est donc cette direction qui joue le rôle critique dans la stabilité, au lieu de la verticale, repère ordinaire de l'Hydrostatique élémentaire. La surface est stable, avec forte densité du côté polaire dans le type I, du côté équatorial dans les types II et III.

Resterait à discuter les positions de la surface voisines de l'horizon des eaux tranquilles; la même méthode y suffirait, mais nous arriverons plus rapidement au but au moyen de quelques formules.

36. *Formules.* — Le calcul est d'ailleurs facile à faire dans le cas qui nous intéresse, où les surfaces d'égale pression ou *isobares* sont presque horizontales.

Pente des surfaces isobares. — Désignons par φ cette pente ascendante vers le pôle, par rapport à l'attraction newtonienne seule. Les distances h_1 , H_1 , comptées l'une sur l'axe de la Terre, l'autre sur l'attraction newtonienne, sont liées par

une relation qu'on obtient en éliminant ρ entre les équations qui donnent h et H ,

$$h_1 N \sin \lambda = H_1 (N - f_1 \cos \lambda),$$

en appelant f_1 la force centrifuge et λ le complément de l'angle n .

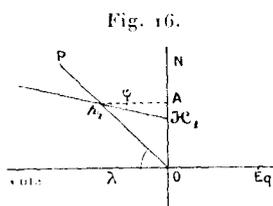
La pente φ_1 de la surface isobare est donnée, dans le triangle $\mathcal{P}C_1$, h_1 , A rectangle en Λ , par l'équation exacte

$$\text{tang } \varphi_1 = - \frac{H_1 - h_1 \sin \lambda}{h_1 \cos \lambda}$$

ou

$$(1) \quad \text{tang } \varphi_1 = - f_1 \frac{\sin \lambda}{N - f_1 \cos \lambda}.$$

Le signe — montre que, loin de l'axe de rotation ($N > f_1 \cos \lambda$), la pente est de *sens contraire* à celle de la *fig. 16*.



La force centrifuge f_1 diffère très peu de celle des eaux tranquilles f_0 au même point; on a sensiblement (au millième et même au dix-millième près)

$$N - f \cos \lambda = N - f_0 \cos \lambda = g,$$

et, comme la pente est très faible, on en tire

$$(2) \quad \varphi_1 = - \frac{f_1 \sin \lambda}{g}, \quad \varphi_1 - \varphi_0 = \frac{-f_1 + f_0}{g} \sin \lambda;$$

$\varphi_1 - \varphi_0$ est la pente de la surface isobare par rapport à la surface des eaux tranquilles (¹).

37. *Surface de séparation* (*fig. 17*). — Dans la figure $SO h_1 h_2$, les hauteurs h_1 , h_2 sont proportionnelles aux volumes spécifiques ρ_1 , ρ_2 des deux couches gazeuses, et l'on a

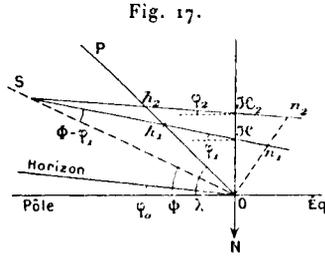
$$SO = h_1 \frac{\sin(\lambda - \varphi_1)}{\sin(\Phi - \varphi_1)} = h_2 \frac{\sin(\lambda - \varphi_2)}{\sin(\Phi - \varphi_2)}.$$

D'où l'on déduit, en tenant compte des formules (1) (n° 36) qui définissent les angles φ_1 et φ_2 ,

$$\frac{N \sin \Phi + f_1 \sin(\lambda - \Phi)}{h_1} = \frac{N \sin \Phi + f_2 \sin(\lambda - \Phi)}{h_2}.$$

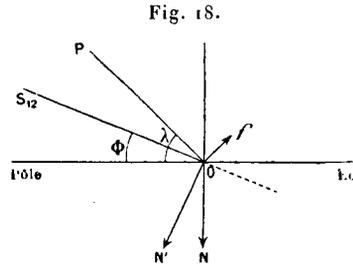
(¹) En toute rigueur, la latitude observée est $\lambda - \varphi_0$ et non λ .

Cette formule peut d'ailleurs être obtenue directement par des considérations mécaniques simples.



L'accroissement de la pression par unité de longueur dans une direction donnée est, comme on sait, égal à la force qui agit dans la même direction sur l'unité de volume du gaz en équilibre.

La surface de séparation est la ligne suivant laquelle la pression est la même



dans les deux masses contiguës; elle est donc donnée (fig. 18) par l'équation

$$\rho_1 [N \sin \Phi + f_1 \sin (\lambda - \Phi)] = \rho_2 [N \sin \Phi + f_2 \sin (\lambda - \Phi)]$$

ou

$$(3) \quad \sin \Phi (\rho_1 - \rho_2) N + (f_1 \rho_1 - f_2 \rho_2) \sin (\lambda - \Phi) = 0.$$

Désignons toujours par 1 la zone qui a le plus grand rayon de calme; f_1 est plus grand que f_2 ; on trouve successivement les orientations suivantes, en appelant φ_1, φ_2 les pentes des surfaces isobares des deux zones, 1 et 2

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 < \rho_2 < \rho_1, & \pi + \varphi_1 > \Phi > \lambda, \\ \rho_1 < \rho_2 < \frac{f_1}{f_2} \rho_1, & \lambda > \Phi > 0, \\ \frac{f_1}{f_2} \rho_1 < \rho_2 < \infty, & 0 > \Phi > \varphi_2. \end{array} \right.$$

Lorsque le rapport des densités $\rho_1 : \rho_2$ varie de 0 à $+\infty$, la pente de la surface de séparation varie depuis φ_2 jusqu'à φ_1 , en passant par le pôle.

L'angle des surfaces isobares 1 et 2 extérieur à la direction du pôle est inaccessible aux surfaces de séparation des deux anneaux.

Nous étudierons bientôt (nos 39, 41) ces directions interdites.

Lorsque les densités sont rigoureusement égales, $\rho_2 = \rho_1$, la surface monte directement vers le pôle :

$$\Phi = \lambda;$$

à l'équateur, en particulier, la surface est alors horizontale.

Le passage de la direction du pôle à la verticale

$$\Phi = \frac{\pi}{2} + \varphi_0$$

correspond à une variation relative de densité facile à tirer de l'équation (3); celle-ci devient, en effet, quand la surface de séparation est verticale,

$$\cos \varphi_0 N(\rho_1 - \rho_2) - (f_1 \rho_1 - f_2 \rho_2) \cos(\lambda - \varphi_0) = 0$$

ou

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{N \cos \varphi_0 - f_2 \cos(\lambda - \varphi_0)}{N \cos \varphi_0 - f_1 \cos(\lambda - \varphi_0)}$$

et

$$(4) \quad \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} = \frac{(f_1 - f_2) \cos(\lambda - \varphi_0)}{N \cos \varphi_0 - f_1 \cos(\lambda - \varphi_0)}$$

ou sensiblement

$$(5) \quad \frac{T_2 - T_1}{T_1} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} = \frac{(f_1 - f_2) \cos(\lambda - \varphi_0)}{g},$$

en négligeant au dénominateur $(f_0 - f_1) \cos(\lambda - \varphi_0)$ devant g , et en se rappelant qu'à égalité de pression les températures absolues sont en raison inverse des densités.

Or $\frac{f_1 - f_2}{g}$ ne dépasse jamais quelques dix-millièmes. Par conséquent, même près de l'équateur [$\cos(\lambda - \varphi_0) = 1$], et par vents opposés violents, la valeur de $T_1 - T_2$ correspondante est toujours inférieure à un dixième de degré, et généralement à beaucoup moins.

En général, la surface de séparation de deux couches d'inégales densités est presque horizontale, ascendante d'un côté ou de l'autre de l'horizon.

Cette faible pente $(\Phi - \varphi_0)$ sur la surface des eaux tranquilles, de l'ordre de quelques centièmes, même par vents forts et températures peu différentes, n'est nullement négligeable; $\frac{1}{120}$ correspond à un relèvement de 1^m pour la distance de Paris à Orléans, c'est-à-dire à un changement atmosphérique considérable dans une étendue infime.

Près de l'équateur, ($\lambda = 0$) cette surface, toujours presque horizontale, est nécessairement ascendante vers l'équateur.

Au lieu de l'équation (3), on pourra presque toujours se contenter de la formule approchée

$$(6) \quad \tan(\Phi - \varphi_0) = \sin(\lambda - \varphi_0) \frac{T_1 + T_2}{2g} \frac{f_2 - f_1}{T_2 - T_1},$$

en regardant comme égal à l'unité le facteur

$$(7) \quad \frac{1 - \frac{T_2 - T_1}{T_1 + T_2} \frac{f_2 + f_1 - 2f_0}{f_2 - f_1}}{1 - \frac{f_2 T_1 - f_1 T_2}{T_2 - T_1} \frac{\cos \lambda}{\rho}}$$

qui n'en peut jamais différer de plus de quelques millièmes quand les vitesses de vent sont différentes.

38. *Stabilité.* — Supposons maintenant qu'une petite masse de l'une des zones passe dans l'autre, sans changement de volume ni de densité, puisqu'il n'y a pas de changement de pression; l'équilibre sera stable, si la poussée expulse la masse étrangère.

Prenons comme direction positive ON' (*fig.* 18) de la normale à $S_{1,2}$ celle qui fait avec l'attraction newtonienne N le même angle Φ que la surface $S_{1,2}$ fait avec la normale à l'attraction newtonienne vers le pôle.

Mettons un accent pour la zone située du côté N' de la surface $S_{1,2}$, et deux accents pour l'autre zone.

L'angle Φ est défini par l'équation (3)

$$(\rho'' - \rho') N \sin \Phi + (\rho' f'' - \rho'' f') \sin(\lambda - \Phi) = 0.$$

La force extérieure subie par l'unité de volume de la première zone, suivant la normale positive ON' , est

$$\rho' [N \cos \Phi - f' \cos(\lambda - \Phi)];$$

la poussée que subit la seconde masse est donc

$$(\rho' - \rho'') N \cos \Phi - (\rho' f' - \rho'' f'') \cos(\lambda - \Phi),$$

et la condition de stabilité est

$$(8) \quad (\rho' - \rho'') N \cos \Phi - (\rho' f' - \rho'' f'') \cos(\lambda - \Phi) > 0.$$

Combinant avec l'équation qui définit l'angle Φ , on trouve d'abord par élimination de $\rho' f' - \rho'' f''$

$$(9) \quad \frac{(\rho' - \rho'') N \sin \lambda}{\sin(\lambda - \Phi)} > 0.$$

Comme N et $\sin \lambda$ sont positifs par le choix même des coordonnées, on voit que la condition essentielle de stabilité est

$$\begin{aligned} \text{Type I : } & \lambda > \Phi, \quad \rho' > \rho''. \\ \text{Types II, III : } & \lambda < \Phi, \quad \rho' < \rho''. \end{aligned}$$

Il faut donc que la masse dense et froide soit du côté du pôle, lorsque la surface de séparation est ascendante sous le pôle, $\Phi < \lambda$, et que la masse dense et

froide soit du côté équatorial, lorsque la surface est ascendante, soit vers l'équateur, soit même du côté polaire, mais entre le pôle et la verticale, $\Phi > \lambda$.

Ce n'est pas tout à fait la règle ordinaire pour les liquides en repos, dont la surface est horizontale; par suite de la différence des vitesses, c'est la direction du pôle et non la verticale qui sert de repère, comme nous l'avions déjà remarqué plus haut (n° 35).

Pour que l'équilibre soit stable, il faut qu'en s'élevant parallèlement à la ligne des pôles on traverse des couches de densités décroissantes.

En conséquence, il n'y a que deux cas à distinguer pour la stabilité :

1° La surface monte au-dessous du pôle;

2° La surface monte au-dessus du pôle ou du côté de l'équateur.

Les deux types essentiels de surfaces sont séparés par les conditions

$$\begin{aligned} \rho_2 &= \rho_1, & \Phi &= \lambda, \\ \rho_2 &= \frac{f_1}{f_2} \rho_1, & \Phi &= 0. \end{aligned}$$

39. D'une manière générale, la surface de séparation stable monte du côté du pôle ($\Phi < \lambda$) lorsque le vent d'Ouest le plus fort (zone 1) est en même temps le plus chaud ($\varphi_1 < \varphi_2$); mais les surfaces presque horizontales méritent un examen particulier.

Car notre surface de repère naturel, c'est, dans les théories générales, la surface des eaux tranquilles, dont la pente φ_0 est donnée par

$$\varphi_0 = - \frac{f_0 \sin \lambda}{N - f_0 \cos \lambda},$$

en appelant f_0 la force centrifuge due à la terre au point d'observation. C'est à cette surface que nous devons tout rapporter; c'est l'angle ($\Phi - \varphi_0$) qui nous apprend si la zone repose sur le globe du côté polaire ($\varphi_0 < \Phi < \lambda$), type I, ou du côté équatorial ($\lambda < \Phi < \pi + \varphi_0$), types II, III.

Le rapport de densités qui donne $\Phi = \varphi_0$ est

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{f_1 - f_0}{f_2 - f_0}.$$

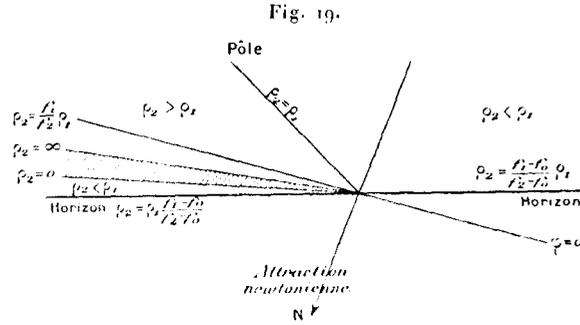
Cela nous donne à distinguer les trois cas suivants représentés par les *fig.* 19, 20 et 21 :

Vents contigus de l'Est : $f_2 < f_1 < f_0$ (*fig.* 19). — Les deux termes de la fraction sont de mêmes signes; le rapport critique $\frac{f_1 - f_0}{f_2 - f_0}$ est positif et inférieur à l'unité.

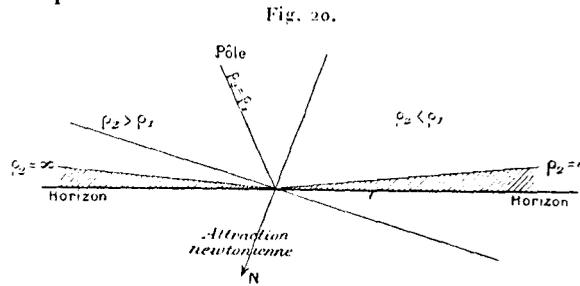
Il y a, du côté polaire, une région interdite aux surfaces de séparation ($\frac{\rho_2}{\rho_1} < 0$); elle est couverte de hachures.

Cas exceptionnel (I). — Si les vents contigus sont presque rigoureusement égaux (à quelques centièmes près), et si le vent d'Est le plus fort (2) est le

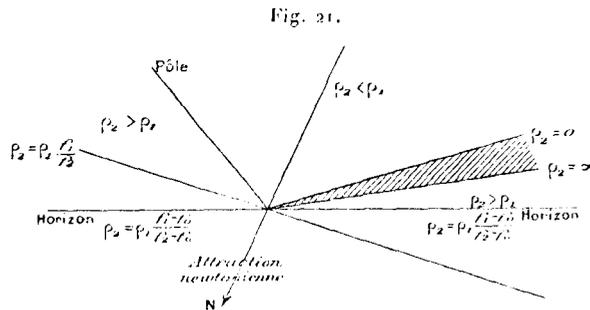
plus chaud ($\rho_1 < \rho_2$), la surface, presque horizontale, est ascendante du côté polaire (type I') (fig. 22), et la stabilité exige que le vent d'Est le plus fort (2) soit du côté équatorial, ce qui est contraire à la règle ordinaire des discontinuités, mais d'accord avec l'intérieur d'une zone convective.



Vents contigus opposés : $f_2 < f_0 < f_1$ (fig. 20). — Les deux termes de la fraction critique sont de signes opposés; l'horizon est dans la région interdite. Il n'y a pas de cas exceptionnel.

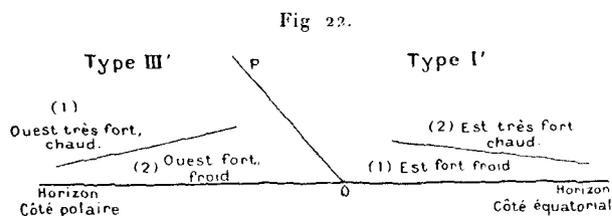


Vents contigus de l'Ouest : $f_0 < f_2 < f_1$ (fig. 21). — Les deux termes de la fraction critique sont de mêmes signes. Le rapport critique est positif et supérieur à l'unité.



Cas exceptionnel. — Si les vents contigus sont presque rigoureusement égaux (à quelques centièmes près) et si le vent d'Ouest le plus fort est le plus chaud (1), la surface, presque horizontale, est ascendante du côté équatorial (type III') (fig. 22) et la stabilité exige que le vent d'Ouest le plus fort (1) soit

du côté polaire, ce qui est contraire à la règle ordinaire des discontinuités, mais d'accord avec l'intérieur d'une zone convective.



N. B. — Les désignations *chaud*, *froid* se rapportent, non aux températures actuelles, mais aux températures des masses ramenées à la même pression par voie *adiabatique*.

40. Appelant V la vitesse linéaire du lieu d'observation ($500^m \times \cos \lambda$ environ) et v_1 , v_2 les vitesses relatives du vent, comptées positivement vers l'Ouest, on a

$$\frac{f_1 - f_0}{f_2 - f_0} = \frac{v_1 (V + 2v_1)}{v_2 (V + 2v_2)}$$

et partout les densités critiques sont données exactement par

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{v_1}{v_2} \frac{V + 2v_1}{V + 2v_2}.$$

Il n'est pas vraisemblable que l'écart de température dépasse jamais une dizaine de degrés entre couches contiguës. Le rapport $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ ne sortira que bien rarement des limites 0,97 à 1,03; pour que, entre ces limites, les cas exceptionnels puissent se produire, il faudrait qu'en même temps le rapport des vitesses de ces deux nappes contiguës soit compris entre des limites plus étroites; par exemple qu'à $\frac{\rho_2}{\rho_1} = 0,97$ corresponde un rapport $\frac{v_1}{v_2} > 0,97$, qu'à une vitesse v_2 de 10^m par seconde corresponde une vitesse v_1 comprise entre $9^m,70$ et $10^m,00$.

Il n'y a évidemment aucune chance de voir se réaliser et se maintenir sur une étendue, même de quelques centaines de mètres seulement, d'aussi petites différences systématiques. Les phénomènes correspondants ne sont pas des phénomènes de courants généraux contigus, ce sont des phénomènes locaux intérieurs à une zone en équilibre convectif. L'étroitesse même des limites d'existence de ces types exceptionnels montre que, près de la surface du sol, les moindres inégalités de résistance, et dans les grandes hauteurs, où la vitesse peut être très uniforme, les grandes différences d'absorption ou de rayonnement par l'eau doivent faire naître ou disparaître incessamment ces types exceptionnels, instables, au milieu d'une distribution stable dans son ensemble. Ces types exceptionnels jouent donc un rôle capital dans l'établissement et le maintien d'un équilibre presque exactement convectif dans l'intérieur de chaque zone.

Nous nous contenterons provisoirement de cet aperçu; d'autant plus que, lorsqu'on est amené à tenir compte d'aussi petites différences de vitesses horizontales, il n'est évidemment plus légitime de s'en tenir aux mouvements horizontaux perpendiculaires au méridien, de négliger les accélérations apparentes dues au mouvement de la terre dans les mouvements verticaux lents. C'est une étude qui, vu son caractère local, doit être reprise par d'autres procédés de calcul.

41. *Zones superposées.* — Nous avons supposé que la surface de séparation s'étend du sol jusqu'aux limites de l'atmosphère; mais il faut, pour cela, que la distribution des densités en hauteur soit presque la même dans les deux zones, afin que l'égalité de pression puisse être réalisée dans toute cette hauteur à peu près à la même latitude. Le plus souvent, cette condition ne sera pas satisfaite; l'égalité de pression ne sera possible qu'entre certaines limites de hauteur et l'une des zones sera superposée à l'autre. Trois cas paraissent alors possibles :

1° La surface de séparation forme une calotte appliquée sur le sol, avec ou sans niveau d'égale densité;

2° La surface de séparation forme une coupe relevée jusqu'au haut de l'atmosphère, avec ou sans niveau d'égale densité;

3° La surface de séparation est fermée, dans l'épaisseur de l'atmosphère, avec un niveau d'égale densité. Elle n'atteint ni le sol ni la limite de l'atmosphère.

Or, en équilibre purement convectif, avec deux zones seulement ayant des rayons de calme différents, il y a dans le voisinage de l'horizon une série de directions inaccessibles aux surfaces de séparation (n° 37). Les deux parties du dôme ou de la coupe ne peuvent donc pas se raccorder tangentiellement; si elles se rejoignent près de l'horizontale, c'est en faisant un angle.

Mais un changement brusque de la surface de séparation exige une variation brusque de la différence des vitesses, ou des densités, ou des deux.

Fig. 23.

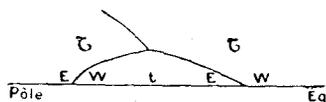
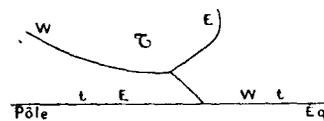


Fig. 24.



Il ne peut exister de zone limitée en hauteur au milieu d'une autre zone.

Lorsqu'il y a une zone limitée en hauteur, elle a nécessairement, près de son point le plus haut ou le plus bas, une arête suivant laquelle elle se rattache à la surface de séparation de deux autres zones (fig. 23 et 24).

CHAPITRE IV.

MÉLANGE DES ZONES CONTIGUES LIMPIDES.

42. Que l'équilibre soit ou non stable au point de vue de la différence des densités, comme les vitesses des deux anneaux contigus sont différentes, et deviennent très grandes à petite distance de l'axe, il se produit constamment des mélanges qui, ayant une vitesse intermédiaire, s'intercalent ordinairement entre les deux anneaux. Il importe de savoir exactement où le mélange se place et cela est surtout intéressant dans le cas où la surface, devenant subitement instable par un changement progressif des densités ou des vitesses, le mélange s'effectue violemment. Helmholtz a traité cette question analytiquement dans le cas le plus simple de mélanges sans évaporation ni condensation; il n'a examiné que le cas où la surface initiale est stable.

La force centrifuge f sur l'unité de masse du mélange est facile à obtenir; la quantité de mouvement se conserve, par conséquent la racine carrée de f est égale à la moyenne des racines carrées de f_1 et de f_2 , le rayon de courbure étant le même, celui des deux trajectoires contiguës :

$$\sqrt{f} = \mu\sqrt{f_1} + (1 - \mu)\sqrt{f_2},$$

en appelant μ la proportion en poids du composant 1 et $(1 - \mu)$ celle du composant 2. On passe de $\mu = 0$ à $\mu = 1$ en allant de la zone 2 à la zone 1 à travers le mélange.

On a donc

$$f = \mu^2 f_1 + (1 - \mu)^2 f_2 + 2\mu(1 - \mu)\sqrt{f_1 f_2},$$

ou encore

$$f = \mu f_1 + (1 - \mu) f_2 - \mu(1 - \mu)(\sqrt{f_1} - \sqrt{f_2})^2.$$

La force centrifuge, comprise entre les extrêmes, est toujours plus petite que la moyenne; elle n'a ni maximum ni minimum, μ étant compris entre 0 et 1 :

$$\frac{\partial f}{\partial \mu} = 2(\mu\sqrt{f_1} + (1 - \mu)\sqrt{f_2})(\sqrt{f_1} - \sqrt{f_2}).$$

Dans le mélange, la pente φ des surfaces de niveau, donnée par l'équation

$$\text{tang } \varphi = - \frac{f \sin \lambda}{N - f \cos \lambda}$$

ou

$$\varphi = - \frac{f \sin \lambda}{g}$$

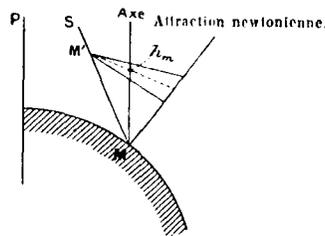
est toujours intermédiaire entre les pentes des surfaces extrêmes, mais toujours comprise entre la pente moyenne $\varphi_m = \mu \varphi_1 + (1 - \mu) \varphi_2$ et la pente φ_2 de la zone 2 :

$$-\varphi = -\varphi_m - \mu(1-\mu)(\sqrt{-\varphi_1} - \sqrt{-\varphi_2})^2,$$

$$-\varphi_1 > -\varphi_m > -\varphi > -\varphi_2.$$

43. *Mélanges d'air limpide.* — L'inclinaison de la surface d'égalité de pression du mélange est toujours comprise entre les inclinaisons des surfaces de même cote dans les composants, mais plus rapprochée de celle qui a le plus petit rayon de calme que ne le serait la moyenne. Or, pour les inclinaisons très faibles réalisées dans notre atmosphère, il est évident que l'inclinaison moyenne s'obtient en joignant au point d'intersection M' des surfaces relatives aux deux anneaux contigus le point h_m , de la parallèle à l'axe de rotation, qui correspond au volume spécifique moyen (*fig. 25*).

Fig. 25.



Comme le volume spécifique du mélange est exactement égal à la moyenne des volumes spécifiques extrêmes, la surface de niveau du mélange passe par le même point h_m , mais avec une inclinaison plus voisine de celle de la surface 2, que l'inclinaison moyenne.

Sans entrer dans une discussion plus détaillée, il nous devient facile de construire les diverses figures du Tableau suivant (*fig. 26*), qui donnent la position que prend l'anneau de mélange gazeux pour tous les cas d'équilibre stable ou instable.

Dans les trois dessins de la colonne de gauche (Construction), les traits pleins $1M'$, $2M'$ représentent la trace, sur le plan méridien du point M , de deux surfaces isobares de même cote dans les deux anneaux 1, 2. La surface ayant pour trace MM' est la surface de séparation de ces deux anneaux. Sur la

direction du pôle, le point h_m indique, par sa position entre les points 1, 2, la composition moyenne du mélange. La ligne $M'h_m$, en traits interrompus, est la ligne d'inclinaison moyenne tracée comme terme de comparaison. Pour le mélange la trace de la véritable surface isobare, de même cote que celles des anneaux 1, 2, est représentée par le trait plein émané du point h_m moins incliné que le trait interrompu par rapport à la ligne $2M'$. L'intersection de ce trait plein et du trait $1M'$, relatifs à des surfaces isobares de même cote dans l'anneau 1 et dans le mélange, détermine leur surface de séparation Mm_1 ; il en est de même pour la surface Mm_2 qui sépare le mélange de l'anneau 2. — Le mélange est marqué par des hachures.

A partir d'un état stable de la surface de séparation du type I, un mélange intermédiaire en équilibre occupe une zone ouverte vers le haut de l'atmosphère, et limitée vers le bas seulement. Quel que soit le niveau auquel le mélange commence à se former, ce mélange va donc se placer au début en haut de la surface de séparation, ce que nous exprimons en disant qu'il est *ascendant*. Mais, à mesure que la masse du mélange augmente, la zone qu'il occupe s'étend de plus en plus bas, et finit par atteindre le niveau du sol. Les deux anneaux primitifs sont alors séparés dans toute leur hauteur par l'anneau de mélange. Cet état est rapidement atteint, car pour ces mélanges limpides la pente des surfaces limites du mélange diffère extrêmement peu, surtout dans la zone torride, de la pente de la surface initiale; l'écart ne peut dépasser quelques centièmes, même pour des vents contigus violents. A partir de ce moment, c'est entre chacun des premiers anneaux et l'anneau de mélange déjà formé que s'effectuent les échanges; la mise en jeu répétée du même mécanisme donne naissance à un anneau de mélange graduel interposé entre les anneaux convectifs.

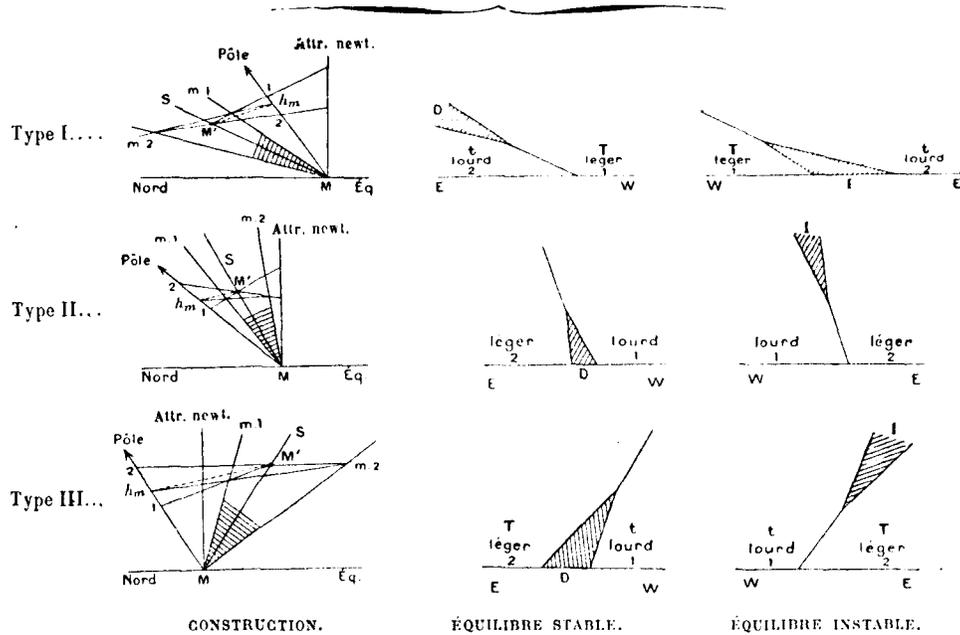
Pour les types II et III stables, le mélange est d'abord descendant et gagne vers le haut, jusqu'à occuper toute la hauteur de la surface de séparation.

Dans l'anneau de mélange graduel stable, règnent des vents d'Est du côté polaire, d'Ouest du côté équatorial; la pression y est basse par comparaison avec les pressions élevées des parallèles de calme des deux anneaux convectifs 1, 2 (1). Cette disposition relative des vents et des pressions est celle qui caractérise la circulation *cyclonique* des météorologistes, et Helmholtz n'a pas hésité à faire l'assimilation de ces zones de mélange graduel stable avec les cyclones ou les bourrasques tournantes. Il me paraît impossible d'admettre ce point de vue. Il est évident, au contraire, que le mélange le long d'une surface stable est le phénomène progressif, régulier et sans violence, et correspond à l'existence de deux courants contigus sur un long parcours; tandis que le phénomène soudain et violent est celui qui prend naissance au moment où une sur-

(1) Voir Chap. VI, n° 39, fig. 43.

face, primitivement stable, devient instable. C'est ce phénomène qui, seul, peut être nettement localisé, l'instabilité n'apparaissant d'abord qu'en un point de la surface de séparation. En outre, on sait que la distribution des vitesses dans le cyclone se rapproche beaucoup d'une distribution convective (à potentiel des vitesses) autour de l'axe du cyclone, avec son maximum tout près du centre, ce qui est tout l'opposé de la distribution dans le mélange graduel.

Fig. 26.



E. W. indiquent pour la Terre un vent d'Est ou d'Ouest, le pôle étant à gauche et l'équateur à droite.
D, I indiquent une « circulation » de même sens que la rotation du globe ou de sens inverse.

A partir d'un état stable, le mélange limpide est ascendant, du côté polaire (type I), lorsque le vent d'ouest qui règne du côté équatorial de la surface de séparation est chaud. Le mélange limpide est descendant, entre le pôle et le côté équatorial de l'horizon (types II, III), lorsque le vent d'ouest, qui règne du côté équatorial de la surface de séparation, est froid.

Les mélanges d'air limpide occupent très vite toute la hauteur des deux couches qui se mélangent. Lorsqu'ils se forment le long d'une surface qui devient instable, le tourbillon engendré est sensiblement cylindrique, au début, et devient ensuite grossièrement conique.

Ce tourbillon peut être limité en hauteur lorsque les deux masses contiguës qui se mélangent sont surmontées d'une troisième nappe limpide ou nuageuse qui les coupe toutes deux, et dont la surface inférieure est stable (n° 41).

D'après les descriptions et les Cartes du service des États-Unis, cette cir-

constance me paraît être celle de la formation des trombes et des tornades. Mais ce point mérite une étude détaillée (Chap. IX).

44. *Formules.* — Dans le cas actuel, il est intéressant de reprendre la question au moyen des formules de manière à mettre en évidence les cas exceptionnels signalés au Chapitre précédent, et à reconnaître le caractère correspondant des mélanges.

Remarquons que la densité est toujours en raison inverse de la température absolue; car la masse d'eau, liquide ou en vapeur, est toujours extrêmement petite et la pression à l'endroit du mélange est la même de part et d'autre. En tenant compte de cette circonstance, l'inclinaison de la surface de séparation et la condition de stabilité peuvent s'écrire par une transformation facile des équations (3), n° 37, et (9), n° 38,

$$(1) \quad \frac{\sin \Phi_{12}}{\sin (\lambda - \Phi_{12})} = - \frac{\frac{f_1}{T_1} - \frac{f_2}{T_2}}{g \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = \frac{T_2 f_1 - T_1 f_2}{g (T_1 - T_2)},$$

et

$$(2) \quad (T_1 - T_2) \sin (\lambda - \Phi_{12}) > 0.$$

La surface de séparation initiale est nécessairement stable, ou à la limite de stabilité; si donc la seconde condition n'est pas satisfaite, on a au plus

$$T_1 = T_2 \quad \text{ou} \quad \lambda = \Phi.$$

Occupons-nous d'une surface stable, de part et d'autre de laquelle les deux températures sont bien différentes.

45. *Mélange graduel limpide ou non.* — On peut penser que le mélange se forme alors d'une manière progressive, et chaque couche est en contact avec une autre de composition infiniment peu différente. Soient f et T la force centrifuge et la température exprimées en fonction de la composition du mélange; alors la surface de séparation entre deux couches de compositions infiniment peu différentes μ , $\mu + d\mu$, est donnée par l'équation

$$(3) \quad \frac{\sin \Phi}{\sin (\lambda - \Phi)} = - \frac{1}{g} \cdot \frac{\frac{\partial}{\partial \mu} \left(\frac{f}{T} \right)}{\frac{\partial}{\partial \mu} \frac{1}{T}} = \frac{1}{g} \left[T \frac{\frac{\partial f}{\partial \mu}}{\frac{\partial T}{\partial \mu}} - f \right]$$

qui résulte immédiatement de celle du numéro précédent. De même la condition de stabilité est, en se rappelant le sens d'accroissement de μ ,

$$(4) \quad \frac{\partial T}{\partial \mu} \sin (\lambda - \Phi) > 0.$$

Si $\frac{\partial T}{\partial \mu}$ s'annule, c'est-à-dire si la température a un maximum ou un minimum, comme $\frac{\partial f}{\partial \mu}$ ne peut jamais s'annuler, l'équation de la surface montre que $\sin(\lambda - \Phi)$ s'annule et change de signe en même temps.

Par conséquent, la stabilité ou l'instabilité se conservent en passant par la direction du pôle (maximum ou minimum de température), lorsque cette circonstance se produit.

Le mélange entier est donc stable ou instable à la fois, jusqu'à la limite $\mu = 0$ ou $\mu = 1$, si la composition varie d'une manière graduelle et régulière.

46. Tout l'intérêt est dans la comparaison avec la surface initiale, stable; comme la loi de variation de T en fonction de μ dépend de l'état limpide ou nuageux, nous passerons en revue les différents cas possibles, chacun à son tour. Bornons-nous actuellement aux mélanges limpides.

On a alors

$$T = \mu T_1 + (1 - \mu) T_2, \quad \frac{\partial T}{\partial \mu} = T_1 - T_2.$$

Mettons en évidence la force centrifuge f_0 du globe terrestre, caractéristique de la surface des eaux tranquilles; soit V la vitesse correspondante de la surface du globe (environ $500 \cos \lambda$ mètres par seconde, vers l'est), et les vitesses du vent des deux côtés de la surface de séparation v_1, v_2 . On a

$$\sqrt{\frac{f_1}{f_0}} = 1 + \frac{v_1}{V}, \quad \sqrt{\frac{f_2}{f_0}} = 1 + \frac{v_2}{V},$$

d'où

$$\sqrt{\frac{f}{f_0}} = 1 + \frac{\mu v_1 + (1 - \mu) v_2}{V},$$

$$\frac{\partial f}{\partial \mu} = 2 \left[1 + \frac{\mu v_1 + (1 - \mu) v_2}{V} \right] \frac{v_1 - v_2}{V} f_0.$$

Mettons ces expressions en évidence dans l'équation (3), n° 45. L'inclinaison Φ de la surface de séparation de deux mélanges de composition infiniment voisine $\mu, \mu + d\mu$ est donnée par l'équation

$$\frac{\sin \Phi}{\sin(\lambda - \Phi)}$$

$$= \frac{V + \mu v_1 + (1 - \mu) v_2}{(T_1 - T_2)} [2T_2(v_1 - v_2) - (V + v_2)(T_1 - T_2) + \mu(T_1 - T_2)(v_1 - v_2)] \frac{f_0}{gV^2}.$$

A la limite $\mu = 1$, on a, pour la surface de séparation S_1 de l'anneau 1 et du mélange graduel,

$$(5) \quad \frac{\sin \Phi_1}{\sin(\lambda - \Phi_1)} = \frac{V + v_1}{(T_1 - T_2)} [(T_1 + T_2)(v_1 - v_2) - (T_1 - T_2)(V + v_2)] \frac{f_0}{gV^2}.$$

A la limite $\mu = 0$, on a, pour la surface de séparation S_2 de l'anneau 2 et du mélange graduel,

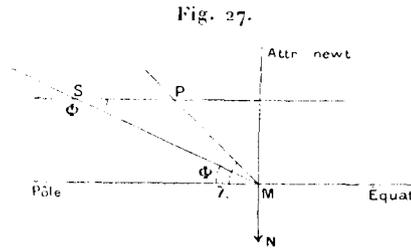
$$(6) \quad \frac{\sin \Phi_2}{\sin(\lambda - \Phi_2)} = \frac{V + c_2}{(T_1 - T_2)} [(T_1 + T_2)(c_1 - c_2) - (T_1 - T_2)(V + c_1)] \frac{f_0}{g' V^2}.$$

Avec les mêmes notations la surface initiale S_{12} [formule (1) n° 44] est représentée par l'équation

$$(7) \quad \frac{\sin \Phi_{12}}{\sin(\lambda - \Phi_{12})} = \frac{(T_1 + T_2)(c_1 - c_2) \left(V + \frac{c_1 + c_2}{2} \right) - (T_1 - T_2) \left[V^2 + (c_1 + c_2)V + \frac{c_1^2 + c_2^2}{2} \right]}{T_1 - T_2} \frac{f_0}{g' V^2}.$$

Toutes ces surfaces montent directement vers le pôle, lorsque les températures et les densités sont les mêmes ($T_1 = T_2$).

L'interprétation de ces formules est rendue facile par la remarque géométrique suivante. Traçons (*fig. 27*), à partir du point M, la direction du pôle MP, l'attrac-



tion newtonienne N et une des surfaces de séparation MS. Par un point P pris à l'unité de distance de M, sur la direction du pôle, traçons une perpendiculaire à l'attraction newtonienne, et marquons son point de rencontre S avec MS. Dans le triangle MPS, l'angle en S est égal à Φ , l'angle en M est égal à $\lambda - \Phi$, et l'on a

$$\frac{\sin \Phi}{\sin(\lambda - \Phi)} = \frac{MP}{PS} = \frac{1}{PS}.$$

Le point S est à gauche de P si le premier membre est positif; à droite s'il est négatif. Si l'on a, algébriquement pour deux surfaces MS' , MS'' ,

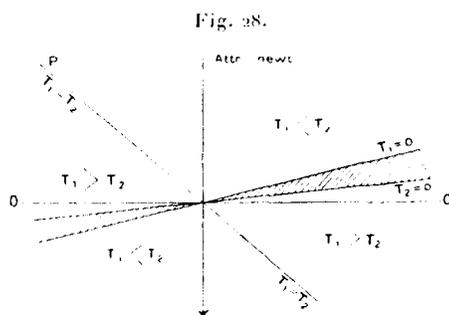
$$\frac{\sin \Phi'}{\sin(\lambda - \Phi')} > \frac{\sin \Phi''}{\sin(\lambda - \Phi'')},$$

le point S' est toujours à droite du point S'' .

Cela posé, désignons toujours par l'indice 1 l'anneau qui a le plus grand rayon de calme, $v_1 > v_2$. Si l'anneau 1 est le plus chaud $T_1 > T_2$, on reconnaît facilement, sur les équations (5), (6), (7), que les surfaces de séparation se succèdent dans l'ordre $MS_2, MS_{1,2}, MS_1$, en tournant autour du point M du pôle vers le zénith. C'est l'inverse, si l'anneau 1 est le moins chaud, $T_1 < T_2$. L'échange se produit lorsque les températures sont égales ($T_1 = T_2$), toutes les surfaces étant dirigées alors vers le pôle ($\Phi_1 = \Phi_{1,2} = \Phi_2 = \lambda$).

Si les vitesses des vents v_1, v_2 sont bien inégales, et si l'écart des températures T_1, T_2 n'est pas énorme, ces deux cas correspondent respectivement au type I et aux types II et III (*fig. 26*), déjà obtenus par des constructions géométriques. Il n'y a pas lieu d'y revenir.

17. Mais nous pouvons tirer plus facilement des formules que de la construction les résultats relatifs aux vents presque égaux, avec grande différence de température. Nous avons déjà appris, au Chapitre précédent, l'existence d'une région de l'espace inaccessible aux surfaces de séparation lorsque les vitesses sont différentes; cette région voisine de l'horizon, du côté équatorial, est comprise entre les surfaces isobares de chacun des deux anneaux (1); nous les trouvons ici pour les valeurs nulles de T_1 ou de T_2 (*fig. 28*).



Pour $T_2 = 0$ les surfaces S_2 et $S_{1,2}$ seraient confondues avec une surface isobare de l'anneau 2; mais S_1 serait différente, comme il est facile de le voir sur les formules. On obtient un résultat analogue pour $T_1 = 0$.

Entre cette région inaccessible (*fig. 28*) et la perpendiculaire à l'attraction newtonienne OO , du côté équatorial, peuvent trouver place des surfaces de séparation et des mélanges de caractère exceptionnel, c'est-à-dire qui, avec la direction du type III, aient les caractères de stabilité et de position du mélange qui correspondent au type I.

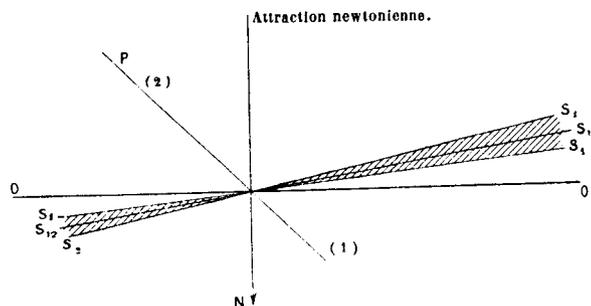
(1) Au point de vue purement algébrique, cette région inaccessible correspond aux valeurs négatives du rapport $\rho_1 : \rho_2$ ou $T_2 : T_1$.

48. Les figures suivantes représentent la suite des cas possibles.

TYPE III. — Exceptionnel.

$$0 < \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} < \frac{v_1 - v_2}{V + v_1}$$

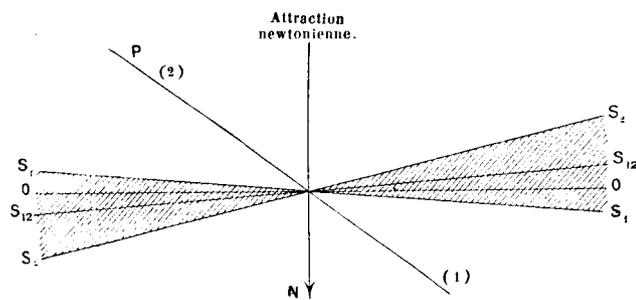
Fig. 29.



TYPE III. — Exceptionnel.

$$\frac{v_1 - v_2}{V + v_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} < \frac{(2V + v_1 + v_2)(v_1 - v_2)}{2V^2 + 2V(v_1 + v_2) + v_1^2 + v_2^2}$$

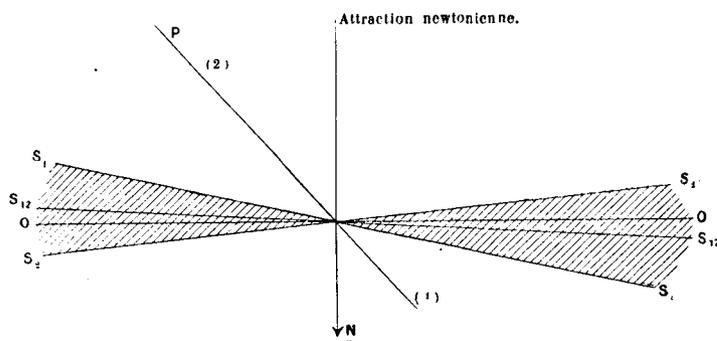
Fig. 30.



TYPE I. — Exceptionnel.

$$\frac{(2V + v_1 + v_2)(v_1 - v_2)}{2V^2 + 2V(v_1 + v_2) + v_1^2 + v_2^2} < \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} < \frac{v_1 - v_2}{V + v_2}$$

Fig. 31.



Les types qui précèdent correspondent, comme les types exceptionnels du Chapitre précédent (n° 39), à de très petites inégalités dans un vent fort.

La discussion de toutes les particularités qu'ils présentent, suivant la force du vent et la position de l'horizon vrai par rapport aux surfaces S_1 , S_2 , serait extrêmement compliquée et se rapporterait, en réalité, à l'étude des états intérieurs à une même zone. Ce n'est que d'une manière tout à fait exceptionnelle que le mélange stable pourrait être totalement ou en partie ascendant, vers l'équateur entre la surface des eaux tranquilles (horizon vrai) et le plan perpendiculaire à l'attraction newtonienne, c'est-à-dire avec une pente inférieure à 6 ou 7 minutes même vers la latitude de 45° , où cet intervalle disponible est maximum.

49. *Mélanges homogènes.* — Au point de vue de la position des surfaces de séparation, le mélange homogène de composition quelconque ne diffère pas essentiellement du mélange graduel, tant que l'anneau de mélange est peu épais. Une différence apparaîtrait si l'anneau de mélange occupait une zone un peu étendue en latitude : le mélange homogène est en équilibre convectif; le mélange graduel n'est pas en équilibre convectif; mais, tant que les causes qui produisent le mélange continuent à agir, le mélange constamment alimenté aux dépens des deux autres zones conserve son caractère graduel. Le vent d'Ouest diminue graduellement en avançant vers le pôle, se renverse, et devient de plus en plus fort de l'Est (1). *Il y a une zone de calmes avec basse pression, ce qui est incompatible avec l'équilibre convectif et exige le mélange progressif.*

Cet état cesse quand les causes de mélange cessent d'agir, et le mélange devient spontanément homogène; la zone de calmes subsiste, mais la pression s'y relève; au contraire du côté polaire de cette zone de calmes, le vent d'Est tombe, puis passe à l'Ouest; l'inverse se produit du côté équatorial; en même temps la pression baisse.

Les surfaces de séparation stables entre les zones primitives 1, 2 et le mélange graduel restent du même type, lorsque le mélange devient homogène, car il reste toujours intermédiaire; la stabilité augmente, et les surfaces limites se rapprochent de la direction du pôle, car, par suite de l'équilibre convectif de l'anneau de mélange homogène, les vitesses près des surfaces de séparation S_1 , S_2 changent dans le sens favorable.

50. *Discussion.* — *Lorsque l'anneau chaud et léger est du côté équatorial, le mélange limpide se porte toujours à la partie supérieure de l'atmosphère, progressivement ou violemment.*

(1) En langage hydrodynamique, il y a un potentiel des vitesses quand l'équilibre est convectif; il y a *circulation* dans l'anneau de mélange graduel.

Pour notre globe terrestre, si l'atmosphère était sans nuage, mais un peu absorbante, on pourrait tirer de la répartition bien connue du rayonnement solaire les conclusions suivantes :

Régions supérieures de l'atmosphère. — 1° Pendant toute la saison froide, la répartition de la chaleur en latitude assure la continuité du mouvement des régions supérieures de l'atmosphère.

2° Pendant la saison chaude, l'existence de deux maximum, l'un près de l'équateur, l'autre au pôle, fait apparaître deux régions qui s'étendent, l'une de l'équateur au maximum, l'autre du minimum au pôle, dans lesquelles la température croît avec la latitude. Dans ces deux régions, l'une intertropicale, l'autre circumpolaire, en été, les mélanges commencés dans les régions supérieures de l'atmosphère descendent vers le sol, progressivement ou violemment, suivant la stabilité de la surface.

Pendant toute la saison froide, les surfaces limites sont du type I, stable, et deviennent, à l'équateur, tout à fait horizontales. Si le changement de signe de l'excès de température se produit seul, et sans renversement du sens du vent, la surface I se redressera progressivement et passera de l'autre côté de l'horizon, II, III, sans cesser d'être stable. C'est ce qui arrivera généralement dans la région circumpolaire.

Régions inférieures de l'atmosphère. — Pour empêcher les très grands vents à la surface du sol, il faudrait que les zones d'équilibre convectif soient toujours peu étendues; la résistance du sol ne suffit pas à les limiter, comme on le voit bien par les longs espaces que des vents violents peuvent parcourir, avant de s'éteindre. Il faudrait donc, en outre, que les mélanges qui prennent naissance aux confins de deux zones restent à la surface du sol et substituent à une surface de discontinuité un épais anneau de mélange, à vitesses graduellement variables. Pour qu'il en soit ainsi, sans troubles violents, *dans une atmosphère sèche*, il faudrait que la température *croisse de l'équateur vers les pôles*. C'est tout le contraire de ce que fait le rayonnement solaire en hiver; en été, toutefois, cette circonstance peut se réaliser près de l'équateur et près du pôle. En toute saison d'ailleurs, les inégalités de température du sol peuvent assurer cette absence de grands vents dans certaines régions.

Sans les analyser davantage, parce qu'elles seront modifiées par la présence de l'eau, ces conditions apparaissent comme opposées dans les hautes et dans les basses régions de l'atmosphère, et l'on comprend au prix de quels conflits, périodiquement reproduits d'année en année, l'état moyen se maintient.



CHAPITRE V.

MÉLANGE DES ZONES CONTIGUES NUAGEUSES.

51. Jusqu'ici, les résultats sont ceux qu'a énoncés Helmholtz, ou qui dérivent de sa théorie. La seule différence est dans l'importance attribuée aux situations instables, et dans la distinction entre les mélanges en zone et les mélanges en cône tourbillonnant. Il faut maintenant examiner le cas où le volume spécifique du mélange diffère beaucoup du volume moyen. Les remarques suivantes suffisent pour la construction des figures :

1° Sur la direction du pôle, le point h_m , relatif au mélange, est placé au-dessus du point moyen, quand il y a condensation, au-dessous du point moyen, quand il y a évaporation, au-dessous du point le plus bas, quand l'évaporation est très active (Chap. II).

2° La pente des surfaces de niveau est toujours comprise entre la pente *moyenne* et la pente de la zone 2 (Chap. IV, n° 42).

Ayant tracé deux surfaces de même niveau des zones 1, 2, qui se coupent au point $S_{1,2}$, on devra tracer, pour un mélange donné, d'abord la ligne de pente moyenne, comme terme de comparaison, en joignant le point $S_{1,2}$ au point *moyen* sur la ligne des pôles. Puis, marquant le point du *mélange* sur la ligne des pôles, on trace par ce point une ligne un peu plus voisine de la direction 2 que de la moyenne. Pour divers états de condensation ou d'évaporation, ces lignes sont un peu au-dessus, un peu au-dessous, ou même beaucoup au-dessous de celle du mélange limpide.

Les figures du Chapitre précédent conviennent encore, mais l'anneau de mélange s'allonge et a tendance à occuper toute la hauteur de l'atmosphère, lorsque la *condensation* est faible, comme il arrive toujours.

Dans le cas où il y a une faible *évaporation*, l'écart des surfaces limites du mélange est plus accentué.

Il peut même arriver que les deux surfaces soient de côtés opposés de l'horizon; ce qui exige de nouvelles figures, lorsque l'évaporation est très active.

52. *Formules.* — Il est utile de pousser la discussion jusqu'aux valeurs numériques. Désignons par f_m , T_m la force centrifuge moyenne et la température

moyenne; par f et T la force centrifuge et la température réelles du mélange; on a en se contentant de la formule approchée, qui convient aux grandes différences de vitesse du vent écrite sous une forme à peine différente à la fin du n° 37,

$$\frac{\sin \Phi_{12}}{\sin(\lambda - \Phi_{12})} = \frac{T_1 + T_2}{2g} \frac{f_2 - f_1}{T_2 - T_1},$$

de même, entre le mélange et l'anneau 1,

$$\frac{\sin \Phi_1}{\sin(\lambda - \Phi_1)} = \frac{T_1 + T_2}{2g} \frac{f - f_1}{T - T_1}.$$

Mais

$$\frac{f_2 - f_1}{T_2 - T_1} = \frac{f_m - f_1}{T_m - T_1};$$

d'où

$$\frac{\sin \Phi_1}{\sin(\lambda - \Phi_1)} = \frac{\sin \Phi_{12}}{\sin(\lambda - \Phi_{12})} \frac{T_1 + T}{T_1 + T_2} \frac{f_1 - f}{f_1 - f_m} \frac{T_1 - T_m}{T_1 - T}.$$

A moins d'extraordinaires différences de température, le premier facteur $\frac{T_1 + T}{T_1 + T_2}$ ne diffère pas de l'unité de plus d'un centième.

Le second facteur $\frac{f_1 - f}{f_1 - f_m}$ en diffère moins encore, car on a

$$\frac{f_1 - f}{f_1 - f_m} = 1 + \frac{f_m - f}{f_1 - f_m};$$

cherchons-en le maximum :

On a

$$\frac{f_m - f}{f_1 - f_2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \frac{m_2}{m_1 + m_2} \frac{r_1^2 - r_2^2}{r_1^2 + r_2^2},$$

et cette valeur est toujours positive, puisque nous désignons par 1 l'anneau qui a le plus grand rayon de calme r_1 .

Le maximum correspond à un mélange par parts égales, et est sensiblement égal à $-\frac{1}{4} \left(1 - \frac{r_2}{r_1}\right)$. Il faut donc atteindre des différences de vitesses assez considérables pour que la différence relative soit notable.

Valeurs maximum de $\frac{f_m - f}{f_1 - f_2}$.

Différence de vitesse du vent, en mètres par seconde..	50.	20.	10.	5.
Équateur.....	0,025	0,01	0,005	0,0025
60°.....	0,05	0,02	0,01	0,005
75°.....	0,10	0,04	0,02	0,01

La différence maximum $\frac{f_m - f}{f_1 - f}$, à peu près double de celle inscrite dans le Tableau, est bien moins importante à l'équateur qu'aux latitudes très élevées.

Il ne reste donc à discuter en détail que le facteur $\frac{T_1 - T_m}{T_1 - T}$.

I. — Mélanges avec condensation.

53. *Air nuageux et air saturé*: $T_m < T$. — La différence $T_m - T$ est toujours une petite fraction de la différence $T_1 - T_2$, du dixième au plus, dans le cas d'une différence $T_1 - T_2 = \pm 20^\circ$, et lorsqu'il y a condensation maximum; un vingtième à un trentième pour un écart $T_1 - T_2 = \pm 10^\circ$, comme on peut le voir par le Tableau ci-dessous dont les quatre premières colonnes sont extraites d'un tableau publié par M. von Bezold, en 1890.

Condensation et réchauffement maximum.

Proportions correspondantes..... $m_1 : (m_1 + m_2)$.

Pression 700 ^{mm} .					
$\frac{m_1}{m_1 + m_2}$	t_1	t_2	t	T	$\frac{T - T'}{t_2 - t_1}$
0,54	-20	0	-9	-10,2	0,06
0,53	-10	+10	-1	-0,6	0,08
0,54	0	+20	11	+9,2	0,09
0,57	-20	-10	-15,5	-15,7	0,02
0,43	-10	0	-4	-4,3	0,03
0,54	0	+10	-5	-4,6	0,04

Pression 400 ^{mm} .					
$\frac{m_1}{m_1 + m_2}$	t_1	t_2	t	T	$\frac{T - T'}{t_2 - t_1}$
0,54	-20	0	-9,5	-10,8	0,11
0,55	-10	+10	-1,2	-1	0,11
0,58	-20	-10	-15,5	-15,8	0,03
0,50	-10	0	-4,5	-5	0,05
0,47	0	+10	+6	+5,3	0,07

Si l'anneau 1, qui a le plus grand rayon de calme, est en même temps le plus chaud, on a

$$\frac{f_m - f}{f_1 - f} > 0 \quad \text{et} \quad \frac{T_m - T}{T_1 - T} < 0,$$

d'où

$$\frac{\sin \Phi_1}{\sin(\lambda - \Phi_1)} > \frac{\sin \Phi_{12}}{\sin(\lambda - \Phi_{12})}$$

et aussi

$$\frac{f_m - f}{f_2 - f} < 0 \quad \text{et} \quad \frac{T_m - T}{T_2 - T} > 0,$$

d'où

$$\frac{\sin \Phi_2}{\sin(\lambda - \Phi_2)} < \frac{\sin \Phi_{12}}{\sin(\lambda - \Phi_{12})}.$$

Le sens des inégalités est le même que pour un mélange limpide; mais l'écart est augmenté.

Si l'anneau qui a le plus grand rayon de calme est le moins chaud, l'influence de la différence de température est opposée à celle de la différence des vitesses.

Vents contigus violents. — Régions polaires. — Le sens du phénomène reste le même que pour le mélange limpide; l'écart des surfaces est seulement atténué.

Vents contigus faibles. — Régions équatoriales; températures très différentes. — La position du mélange peut être renversée par la condensation, l'influence de la différence de température étant prédominante.

A l'équateur, quelle que soit la différence de température, le mélange accompagné de condensation s'élève toujours quand la surface de séparation est stable.

La condensation s'accroît alors par détente; chaque zone de mélanges est une amorce de cumulus ascendants.

On remarquera l'accord de ce résultat avec les observations de Cl. Abbe (1).

A l'équateur, quelle que soit la différence de température, le mélange accompagné de condensation descend toujours, quand la surface de séparation est instable. D'ailleurs, la compression adiabatique évapore rapidement le mélange.

Le type I étant exclu par suite de la faible hauteur du pôle au-dessus de l'horizon, on sait que la rotation est directe (cyclonique) quand le composant froid est du côté équatorial, et inverse de celle du globe (anticyclonique) quand le composant chaud est du côté équatorial (*fig. 26*).

Ces tourbillons, dont le nuage s'évapore aussitôt formé, *ne sont pas du tout les cyclones*. Ce sont vraisemblablement les grains blancs, les pampères ou coups de vent rectilignes, ayant un front de très grande étendue, mais peu de profondeur; car, lorsque la surface de séparation instable s'élève vers l'équateur, le tourbillon, dont l'axe est horizontal et dirigé suivant le méridien, roule pour ainsi dire le long du sol et substitue pendant quelques minutes un coup de vent d'Ouest froid au vent régnant tiède d'Est.

II. — Mélanges avec évaporation.

54. *Air nuageux et air sec. —* La succession des variations de température et de densités relatives par le progrès du mélange rend nécessaire de dresser des Tableaux complets pour les deux inclinaisons principales des surfaces de séparation vers le pôle ou vers l'équateur et pour les trois types de mélanges étudiés au Chapitre I.

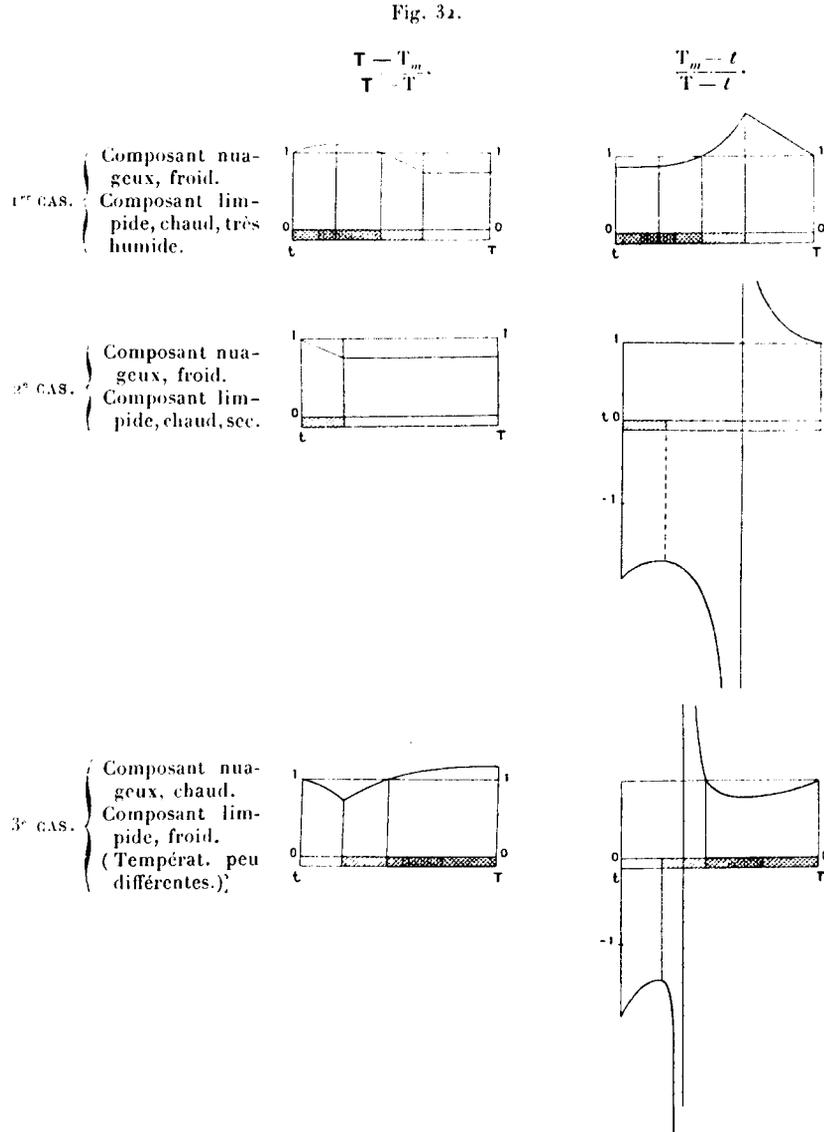
Dans les situations stables, on peut penser que les proportions du mélange croissent régulièrement d'une masse à l'autre, et, si la stabilité subsiste dans toute l'épaisseur du mélange, aucun mouvement violent ne prend naissance.

Dans les situations instables, la violence du mouvement doit faire supposer

(1) *Cloud observations at Sea (Améric. met. Journal, p. 262; octobre 1891).*

que le mélange a une constitution à peu près homogène, et non stratifiée, composition dont les proportions, probablement en rapport avec la vitesse des deux vents contigus, doivent pourtant toujours différer beaucoup de 0 ou de 1, et se rapprocher de l'égalité.

Formons d'abord, au moyen des résultats du Chapitre I (*fig. 6, 7, 8*), le Tableau auxiliaire montrant la variation des fractions $\frac{T - T_m}{T - t}$, $\frac{T_m - t}{T - t}$, suivant les



La température inférieure t est représentée à gauche, la température supérieure T à droite de chaque figure : la bande ombrée indique la région nuageuse. T_m est la température moyenne; T est la température réelle du mélange.

proportions du mélange. Pour tracer ces figures, on prend dans les figures auxi-

liaires 6, 7, 8 le rapport des ordonnées de la courbe et de la diagonale jusqu'au côté supérieur (T) ou inférieur (t) du carré; ce sont les ordonnées des courbes de la *fig.* 32, où les températures moyennes sont prises pour abscisses.

Le seul facteur dont les variations soient importantes, dans les formules qui donnent l'inclinaison des surfaces de séparation d'un mélange et de deux zones, est

$$\frac{T_1 - T_m}{T_1 - T}, \quad \frac{T_2 - T_m}{T_2 - T}.$$

Les variations d'inclinaison Φ , suivant les proportions du mélange, sont donc presque exactement représentées par les courbes du Tableau précédent (*fig.* 32). L'inclinaison du mélange, par rapport à la surface chaude, reste comprise entre des limites étroites; mais, par rapport à la surface froide, cette inclinaison a, pour un certain mélange, une valeur maximum infinie; la surface correspondante devient verticale. De ce côté, par conséquent, la forme est compliquée, et le mélange pénètre dans l'air froid.

D'ailleurs, l'inclinaison, à la surface de séparation de deux mélanges contigus, varie toujours dans le même sens (sans retour en arrière), à mesure que la proportion du composant limpide dans le mélange augmente, depuis la condensation maximum environ. Il n'y a donc là aucune cause perturbatrice de la stratification, pourvu que ces surfaces soient stables.

La surface de séparation qui correspond à la plus basse température du mélange est dirigée vers le pôle (n° 45). Mais, comme ce minimum est certainement très aigu, la pente des surfaces voisines change très vite; soit par la construction indiquée au début du Chapitre, soit par application des formules, on obtient facilement les résultats que résument les Tableaux suivants.

Remarquons seulement que, dans le premier cas (air nuageux froid, air chaud limpide très humide, type I), on aurait conservé la position du mélange ascendant (comme pour deux zones sèches) si l'air chaud était saturé ou à peu près. Il y a là un renversement important à noter pour une limite d'état hygrométrique variable avec la différence de vitesse des vents, mais toujours voisine de 0,8 à 0,9.

SITUATIONS STABLES.

VENT D'EST DU COTÉ POLAIRE; D'OUEST DU COTÉ ÉQUATORIAL.

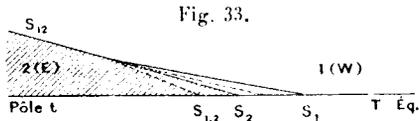
SURFACE PRESQUE HORIZONTALE.

I. -- Surface ascendante vers le pôle
(côté équatorial chaud).

$$t = T_2, \quad T = T_1.$$

Contrairement à ce qui arrive pour l'air limpide, le mélange descend.

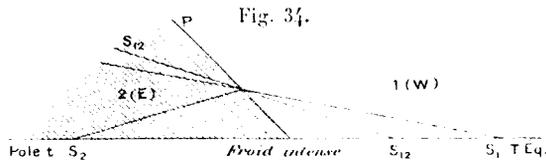
1^{er} CAS. — Le composant chaud est limpide et très humide.



La zone nuageuse avance en s'évaporant sous la zone limpide.

Les surfaces limites sont presque parallèles. Le changement est extrêmement lent.

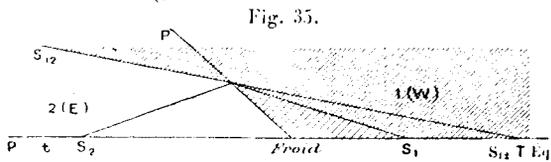
2^e CAS. — Le composant chaud est limpide et presque sec.



Le mélange s'étale des deux côtés, sous le nuage et sous le ciel clair, en produisant un froid intense à la limite d'évaporation complète. La diminution de volume qui en résulte crée un appel d'air des régions supérieures qui élève la pression, active le mélange et éclaircit le ciel rapidement.

Le froid gagne vers le pôle. — *Onde froide.*

3^e CAS. — Le composant froid est limpide; le composant chaud est très nuageux.



Le mélange s'étale des deux côtés de la verticale. La bande de froid intense par évaporation gagne vers le pôle; mais elle est bientôt suivie de l'arrivée du nuage et d'un réchauffement beaucoup plus important.

Onde froide suivie d'un réchauffement persistant par vent d'Ouest.

Pour ces deux types stables, I et III, une même remarque s'impose :

Dans le premier cas, quelle que soit la hauteur à laquelle commence le mélange, il glisse entre les deux surfaces presque parallèles qui le limitent, sans s'en écarter.

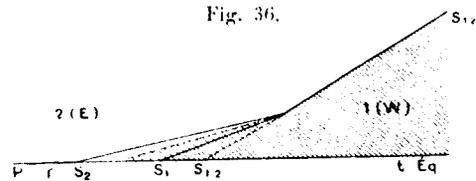
Mais dans les deux derniers cas, la stabilité ne peut se conserver que si le mélange commence par le bas; le mélange formé à un niveau élevé s'étale des deux côtés et tombe à travers la couche inférieure avec des aspects de ciel caractéristiques (Chap. VII).

III. — Surface ascendante vers l'équateur
(côté équatorial froid).

$$t = T_1, \quad T = T_2.$$

Conformément à ce qui arrive pour l'air limpide, le mélange descend.

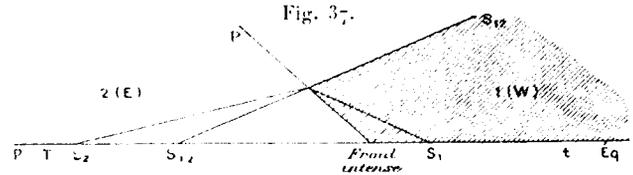
1^{er} CAS. — Le composant chaud est limpide et très humide.



La zone nuageuse avance, en s'évaporant, sous la zone limpide.

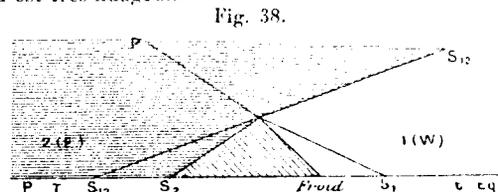
Les surfaces limites sont presque parallèles. Le changement est extrêmement lent.

2^e CAS. — Le composant chaud est limpide et presque sec.



Le mélange s'étale des deux côtés, sous le nuage et sous le ciel clair, en produisant un froid intense à la limite d'évaporation complète. Le nuage recule vers l'équateur; le ciel se dégage, le froid gagne en tous sens, mais surtout du côté de l'équateur. — *Onde froide.*

3^e CAS. — Le composant froid est limpide; le composant chaud est très nuageux.



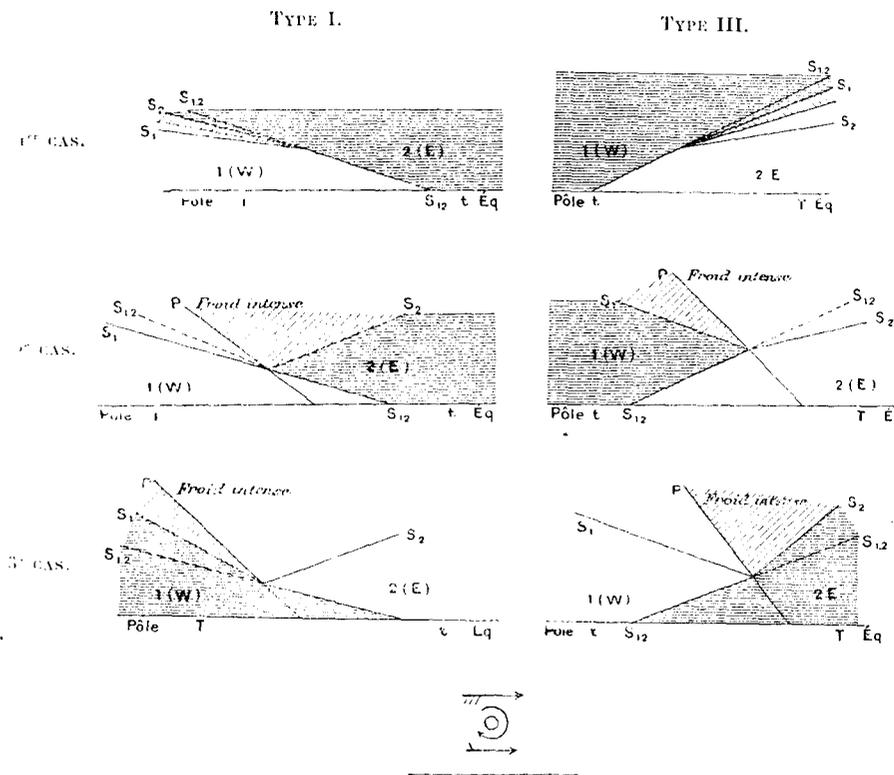
Le mélange s'étale des deux côtés de la verticale. La bande de froid intense par évaporation gagne vers l'équateur; mais elle est bientôt suivie de l'arrivée du nuage et d'un réchauffement beaucoup plus important.

Onde froide suivie d'un réchauffement persistant par vent d'Ouest.

56. Figurons maintenant, à titre de renseignement sur le mouvement initial, la position relative des surfaces de séparation du mélange à composition variable d'une manière continue, dans le cas où la surface initiale est instable du type I ou III. Toutes les surfaces intermédiaires sont également instables, et surtout dans les cas 2, 3, la naissance d'un mouvement violent est inévitable.

Fig. 39.

SITUATIONS INSTABLES.



Dans les situations instables, le mélange évaporé est toujours projeté vers le haut; mais il ne tarde pas à retomber, à cause de l'excès de densité dû à l'évaporation.

Quelque exceptionnelles que paraissent les situations du type II, dans lesquelles la surface de séparation est très redressée, entre le pôle et la verticale, elles jouent un rôle très important. Lorsque deux masses, l'une limpide, l'autre nuageuse, sont contiguës, la loi de variation différente de la densité en hauteur a pour conséquence très fréquente l'existence d'un niveau d'égale densité, avec passage par les surfaces du type II, entre surfaces des types I, III de même stabilité. Cette couche est d'ailleurs très mince.

Formons donc toutes les figures correspondantes, en ayant recours à la for-

mule complète de la fin du Chapitre III, que nous écrivons sous la forme

$$\frac{\sin(\Phi_1 - \lambda)}{\sin(\Phi_1 - \varphi_0)} = \frac{\sin(\Phi_{12} - \lambda)}{\sin(\Phi_{12} - \varphi_0)} \frac{T_1 + T_2}{T_1 + T} \frac{T_1 - T}{T_1 - T_m} \frac{f_1 - f_m}{f_1 - f}$$

Or, entre la verticale et le pôle, $\sin(\Phi_{12} - \lambda)$ et $\sin(\Phi_{12} - \varphi_0)$ sont positifs, et l'on a

Coefficient $\frac{T_1 - T}{T_1 - T_m} \times \frac{f_1 - f_m}{f_1 - f}$	Valeur de Φ_{12}
$-\infty$	$+\ 0$
0	$+\ \lambda$ vers le pôle
1	Φ_{12}
$+\infty$	$+\ \pi$

Or, le coefficient est ici l'inverse de celui qui a été discuté pour la situation I, le même que pour la situation III; on sait donc comment il varie, et l'on peut tracer les figures : il en est de même de l'autre surface de séparation, ainsi que de celles des mélanges contigus.

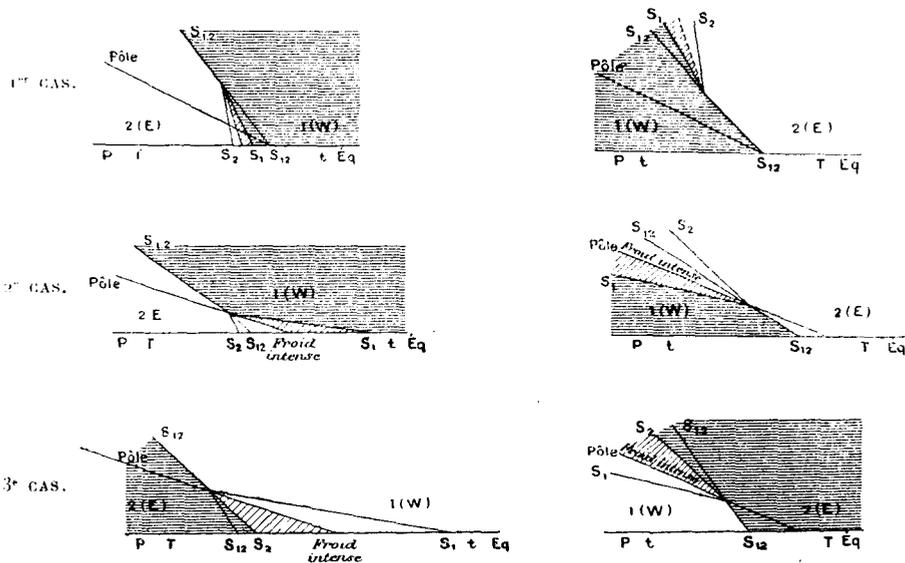
Il suffit de redresser les surfaces du type III, de manière à faire passer les surfaces 1, 2 et 12 entre la verticale et le pôle.

Fig. 10.

TYPE II.

SITUATIONS STABLES.

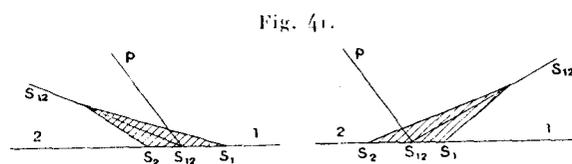
SITUATIONS INSTABLES.



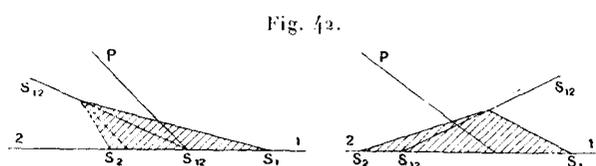
57. *Mélanges homogènes.* — Les mélanges homogènes importants sont ceux dans lesquels la proportion des deux composants est à peu près la même.

1^{er} CAS. — Air limpide saturé. Même résultat que pour l'air sec.

Air limpide, très humide, mais non saturé, mélanges descendants, de part et d'autre de la surface initiale (*fig. 41*).



2^e et 3^e CAS. — Le mélange est plus froid que les deux composants, les surfaces limites sont de part et d'autre de la ligne des pôles (*fig. 42*).



Les mélanges sont limpides ou à peine voilés.



CHAPITRE VI.

ZONES CONTIGUES OCCUPANT TOUTE LA HAUTEUR DE L'ATMOSPHÈRE.
ÉTAT DES RÉGIONS ÉLEVÉES.

58. Les résultats et les dessins du Chapitre précédent donnent la pente de la surface de séparation et la marche du mélange hors du nuage, et dans le nuage. Il faut maintenant grouper les formes qui correspondent à différents niveaux, et tracer à travers toute l'épaisseur de l'atmosphère la surface de séparation et la marche des mélanges entre deux zones, l'une limpide, l'autre contenant une couche de nuages, chacune des zones ayant une vitesse de même sens dans toute son épaisseur. En conséquence, quelle que soit la distribution des densités, stable dans chaque zone, la surface de séparation initiale *sans mélange* sera stable ou instable à la fois dans toute sa hauteur, stable si le vent d'Ouest le plus fort est du côté équatorial de la surface de séparation.

Dans l'intérieur d'une zone en équilibre convectif le vent d'Ouest croît (le vent d'Est décroît) de l'équateur vers le pôle (circulation anti-cyclonique).

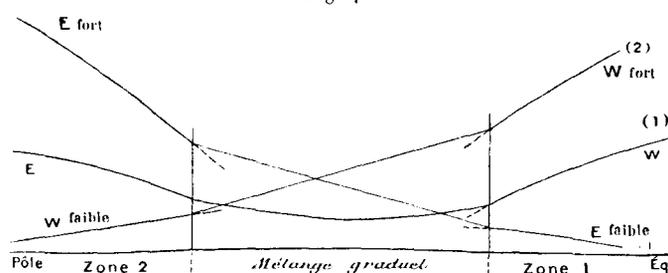
Dans l'épaisseur d'un anneau de mélange graduel formé à partir d'un état stable, le vent d'Ouest décroît (le vent d'Est croît) de l'équateur vers le pôle (circulation cyclonique). Cet anneau n'est pas en équilibre convectif.

Il faut nous rappeler enfin cette conséquence du mouvement de la Terre : Dans tous les états stables, on rencontre les densités décroissantes en s'élevant *vers le pôle*, et réciproquement. C'est le pôle qui sert de repère, au lieu du zénith de l'Hydrostatique ordinaire. Les deux règles sont généralement concordantes; mais elles diffèrent dans le cas important où la surface de séparation de deux zones de densités presque identiques, mais de vitesses très différentes, s'élève entre le pôle et le zénith; ce cas, extrêmement rare au delà des tropiques, est inévitable, dans certaines saisons au moins, tout près de l'équateur et donne à certains phénomènes intertropicaux un caractère qui ne peut pas se retrouver ailleurs.

59. *Pression.* — Dans toutes les situations stables, le rayon de calme de la zone située du côté équatorial est le plus grand. Dans le cas le plus net (1) (*fig. 43*), lorsque les deux aires calmes existent effectivement, en allant de l'équateur au pôle à travers la surface de séparation, la pression baisse d'abord

très vite à mesure que le vent d'Ouest se renforce; elle devient minimum à la surface de séparation ou dans l'anneau de mélange; en même temps le vent passe à l'Est en restant fort, la pression remonte brusquement à mesure qu'on avance dans la nouvelle zone.

Fig. 43.



États stables avec anneau de mélange graduel.

Les ordonnées représentent la pression au niveau du sol, dans les trois cas principaux de distribution des vents stables.

Lorsque l'une ou l'autre des aires calmes fait défaut, le vent ne change que de grandeur sans changer de direction; s'il est de l'Ouest (2) (*fig. 43*), la pression baisse constamment vers le pôle, mais moins vite après la traversée de chacune des surfaces limites; s'il est de l'Est (3) (*fig. 43*), la pression monte constamment vers le pôle, mais plus vite après la traversée de chacune des surfaces limites. Dans tous les cas *la pente vers le pôle se relève brusquement*. Si le tracé des Cartes isobares comportait assez de précision, il y aurait grand intérêt à marquer les lignes de discontinuité du gradient; ce qui n'est pas possible sur les Cartes d'isobares est extrêmement facile sur les Cartes d'isothermes. A l'examen, non des Cartes, tracées avec la préoccupation de masquer les discontinuités, mais des données numériques d'observation, on trouve presque toujours plusieurs fragments de lignes de plusieurs milliers de kilomètres de longueur, de part et d'autre desquelles la variation de température sur une centaine de kilomètres dépasse 5° et même plus. Ces lignes séparent presque toujours deux régions très inégalement nuageuses, et achèvent de fixer la direction générale des courants contigus, si souvent mal définie par les girouettes.

60. *Densités et températures.* — Dans une zone en équilibre convectif dans toute son épaisseur, si peu humide que soit l'air au niveau du sol, il y a toujours un niveau de condensation, quelquefois très élevé, au-dessus duquel l'air est saturé et nuageux jusqu'à la limite supérieure de l'atmosphère. La densité du nuage peut d'ailleurs être extraordinairement faible et ne se révéler à l'œil que par l'apparence plus ou moins opaline du ciel, ou même par sa couleur bleu de diffraction si les gouttelettes sont suffisamment petites.

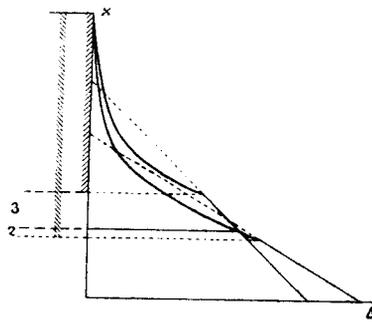
Lorsque deux zones contiguës occupent chacune toute la hauteur de l'atmosphère, la température absolue, la pression, la densité sont nulles au même niveau supérieur dans les régions voisines de la surface qui les sépare. Toutes deux sont nébuleuses dans la région supérieure, mais elles diffèrent par la richesse en vapeur d'eau au même niveau, la plus humide étant la plus chaude, puisqu'elles sont saturées. Il paraît extrêmement probable que la zone la plus humide reste la plus légère à égal niveau, tant qu'elles sont toutes deux nébuleuses.

61. Au niveau du sol, la pression doit être la même de part et d'autre de la surface de séparation, et peu différente à quelques centaines de kilomètres de distance; il faut donc que le défaut de masse de la zone chaude, là où elle est saturée, soit compensé par un excès d'épaisseur d'air limpide; le niveau de condensation de la masse chaude est donc le plus élevé. Il faut même qu'il y ait un niveau d'égale densité au-dessous du nuage chaud et interversion de la différence de température et de densité. Dans le tracé en z , D , l'aire des deux courbes doit être la même, pour qu'il y ait égalité de pression en bas. Cela constitue une indication pour le tracé en z et $\Delta = (D)^{0.4}$, défini au Chapitre II.

La continuité de température à l'entrée du nuage montre que le niveau de pression nulle pour l'air sec sous-jacent est d'autant plus haut que le nuage commence lui-même plus haut, à peu près à moitié de la distance du bas du nuage au haut de l'atmosphère.

Dans ces conditions, la seule disposition ⁽¹⁾ des courbes de densité est celle que représente la *fig. 44*, le niveau d'égale densité étant intermédiaire entre les niveaux de condensation; le niveau de condensation le plus bas peut d'ailleurs descendre jusqu'au sol.

Fig. 44.



Les niveaux de condensation sont d'autant plus différents que la différence de

⁽¹⁾ Toutes autres dispositions, intersection directe des courbes nébuleuses ou des droites limpides, intersection triple près des sommets, me paraissent extrêmement peu vraisemblables dans les conditions actuellement étudiées. Je n'oserais pourtant pas affirmer qu'elles soient absolument impossibles.

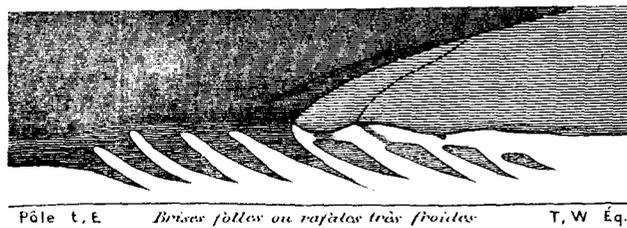
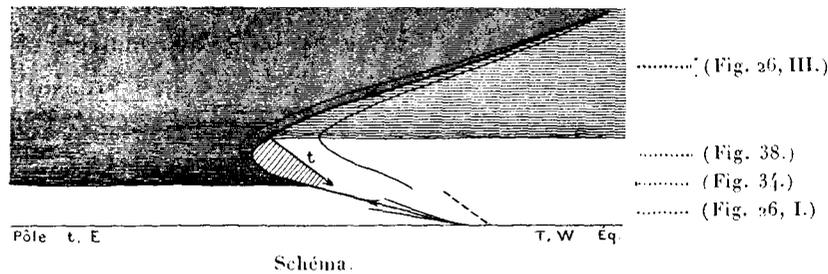
température et d'humidité est plus accusée. Il faut d'ailleurs, pour que les deux couches atteignent la limite de l'atmosphère sans changement notable de latitude, qu'il y ait une relation précise entre la température et l'humidité des couches contiguës, la plus froide en bas étant la plus humide.

Pour tracer maintenant la surface stable de séparation, et la marche des mélanges, il suffit d'associer les figures du Chapitre précédent dans l'ordre convenable :

En haut, deux nuages	Tableau p. 90
Sous le nuage le plus élevé	» 104 (3 ^e cas)
Au-dessous du niveau d'égale densité, dans le nuage	» 104 (2 ^e cas)
Au-dessous des deux nuages	» 90

1^o { Côté polaire..... Vent d'Est, humide, froid, nuages bas. } (Fig. 45.)
 { Côté équatorial.... Vent d'Ouest, sec, chaud, nuages élevés. }

Fig. 45.



Résultat théorique.

62. Le mélange est ascendant sous le nuage bas.

Le mélange est descendant et étalé jusqu'au niveau du nuage le plus bas, et très refroidi par évaporation partielle, surtout du côté équatorial.

Les mouvements opposés, l'un ascendant, l'autre descendant, des mélanges inférieurs prédominent alternativement et découpent la couche inférieure des nuages du côté polaire en tranches, dans la direction du pôle; le nuage le plus bas s'évapore jusqu'au niveau du nuage élevé, mais il laisse pendre une couche de nuées ascendantes vers le pôle, qui s'étalent des deux côtés et marchent avec des vitesses intermédiaires.

Le mélange dans les régions inférieures, activé par la circulation, s'établit rapidement et s'étale principalement dans la région chaude; il est beaucoup plus lent dans le haut, et descendant.

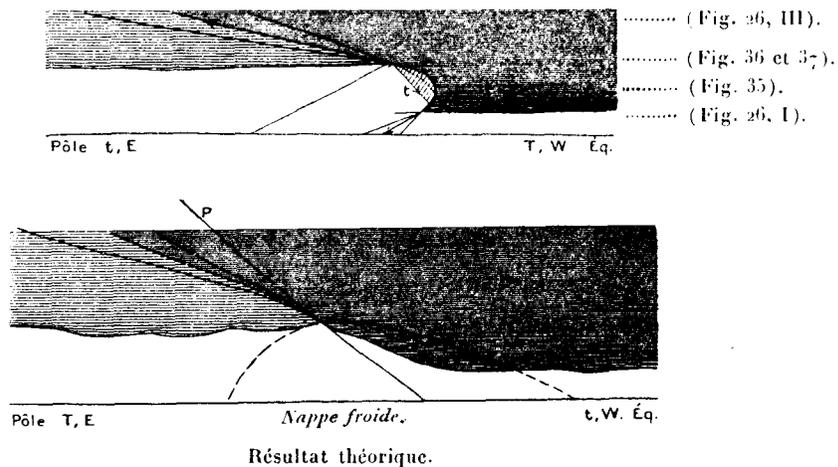
Sous le mélange, le froid s'est exagéré; mais, à cause de l'imbrication des tranches alternativement ascendantes de température moyenne et descendantes très froides, la température, l'état hygrométrique, la direction du vent n'ont aucune fixité et subissent une infinité de sautes brusques dont l'amplitude a son maximum du côté chaud équatorial.

Si, à la rigueur, on peut imaginer un enchevêtrement des surfaces de séparation en éventail, qui satisfasse à la condition de stabilité thermique (densités décroissantes vers le pôle), il n'en est évidemment pas de même pour la condition de stabilité dynamique : le long d'un méridien, le vent subit des alternatives nombreuses; les anneaux de vent d'Ouest décroissant vers le pôle peuvent être en équilibre stable si le mélange y est progressif; les anneaux intermédiaires de vent d'Ouest croissant vers le pôle sont instables comme mélange progressif, mais stables comme mélange homogène.

Tous les rhumatisants connaissent l'influence de ces alternatives et, dès qu'ils en sentent l'effet, peuvent affirmer l'existence actuelle du courant d'Est froid et humide du côté polaire; si les nuages sont hauts, le vent peut être beaucoup plus fort qu'au sol, les rafales descendantes froides sont alors violentes.

2° { Côté polaire..... Vent d'Est, sec, chaud, nuages élevés. } (Fig. 46.)
 { Côté équatorial.... Vent d'Ouest, humide, froid, nuages bas. }

Fig. 46.



63. Le mélange est ascendant vers le pôle dans tout le nuage élevé et même un peu au-dessous. Au-dessous de ce nuage et jusqu'au sol, le mélange est descendant, et, par compensation pour ce qui se passe en haut, ce mélange gagne sur-

tout vers l'équateur sous le nuage bas et froid, qui s'évapore jusqu'au niveau du nuage chaud. Devenu limpide, le mélange refroidi par l'évaporation, s'étale sur le sol en calotte aplatie, bien stable des deux côtés, avec température minimum plus près de son bord équatorial. En s'élevant au milieu du mélange, on trouve une inversion de températures en hauteur bien marquée, surtout du côté polaire. Les propriétés du mélange varient régulièrement d'un bord à l'autre, sans alternatives; le changement de force du vent et son renversement (sans rotation) se font progressivement.

64. *Remarques sur l'état des régions supérieures de l'atmosphère.* — Quelle que soit la distribution des températures en latitude, dans les hautes régions, si l'atmosphère est primitivement stable, saturée et nébuleuse, le mélange progresse lentement sans alternatives et s'étale au-dessus de la zone froide ou au-dessous de la zone chaude (températures comparées au même niveau ou réduites adiabatiquement au même niveau; superposition par rapport à la direction du pôle). Ce transport accroît la stabilité; l'équilibre convectif, et les discontinuités locales de vitesse et de température qu'il rend inévitables, sont remplacés par une distribution continue de vitesse et de températures, avec entrainement analogue à celui d'un solide et stratification à peu près horizontale.

L'atmosphère élevée est probablement peu absorbante, bien que faiblement nuageuse, et l'est certainement d'une manière uniforme sur d'immenses étendues. La chaleur solaire ou le froid nocturne ne peuvent produire que des alternatives de gonflement ou d'affaissement général et uniforme, qui ne troublent pas cette stratification stable, et ne lui substituent pas l'équilibre convectif, qui n'est qu'indifférent. D'autre part, les mouvements irréguliers nés à la surface du globe ne peuvent évidemment pas atteindre les très hautes régions. La seule cause de transformation qui subsiste est le changement produit par le cours des saisons dans la distribution de chaleur solaire aux limites de l'atmosphère. Le second cas (*fig. 46*), qui est le cas normal, est remplacé par le premier (*fig. 45*) pendant l'été dans les régions équatoriales et peut-être dans les régions circum-polaires.

Dans la distribution stratifiée stable, la température décroît moins vite en hauteur que dans l'équilibre convectif; la hauteur de l'atmosphère, correspondant à la même pression, est plus grande et peut être pratiquement illimitée. Dans chaque couche à peu près sphérique, la vitesse angulaire est peu variable, mais décroissante de l'équateur aux pôles, puisque l'entrainement se fait par l'intermédiaire de la couche inférieure, à laquelle le caractère convectif de l'équilibre impose cette propriété. Ces couches sphériques tournent d'autant moins vite qu'elles sont plus éloignées de la Terre; les plus élevées restent probablement à peu près immobiles.

Ce caractère théorique paraît bien d'accord avec les résultats généraux des observations faites à un niveau élevé (¹), mais bien inférieur à celui dont je parle actuellement, puisqu'il est encore atteint par des mouvements capables de déterminer la forme des nuages qui servent de repères.

Dans leur ensemble, les régions inaccessibles de l'atmosphère ont donc un rapide mouvement apparent de l'Est à l'Ouest.

Ces régions ont un mouvement ascendant faible pendant toute l'année, sauf l'été dans les régions circumpolaires et équatoriales. Les cristaux de glace les plus petits peuvent donc être soutenus indéfiniment, surtout aux latitudes moyennes. La haute atmosphère reste donc bien saturée. Toutefois, pendant l'été, les cristaux de glace de la zone équatoriale, et surtout de la zone circumpolaire peuvent tomber plus facilement. Ces deux zones ne doivent posséder que des cristaux toujours plus petits que ceux de la zone tempérée; la haute atmosphère y est vraisemblablement plus transparente, le bleu de diffraction toujours plus pur que dans la zone intermédiaire.

65. *Zone équatoriale. Instabilité.* — Dans la zone équatoriale, les surfaces du type I sont impossibles; le passage par l'horizon et par la ligne des pôles est rigoureusement ou à peu près simultané; par conséquent, il ne peut pas y avoir, près de l'équateur, de surface de séparation stable dans toute son épaisseur, entre deux zones inégalement nébuleuses. En été, le haut de la surface, avec moins de nuages du côté équatorial, peut être stable (*fig. 45*, premier cas); mais alors le bas ne l'est pas; nous l'étudierons dans le Chapitre suivant. En hiver, d'équinoxe en équinoxe, le haut ne peut pas être stable, quel que soit le côté le plus nuageux. A l'équilibre par mélange graduel, qui peut régner l'été, doit se substituer l'équilibre convectif, seul possible l'hiver, jusqu'aux latitudes où les surfaces du type I deviennent possibles. Donc, aux époques où le maximum du rayonnement solaire se rapproche de l'équateur, puis le dépasse, c'est-à-dire pendant le *mois de septembre* (avant l'équinoxe d'automne) pour l'hémisphère nord, le haut de l'atmosphère, dans la région correspondante, est dans un état de trouble inévitable; aux vents d'Ouest lentement croissants, ou presque uniformes de l'état de mélange graduel, succèdent les vents d'Ouest forts et rapidement croissants avec la latitude, de l'équilibre convectif, et cette rapide transformation a son contrecoup inévitable sur les couches sous-jacentes (Chap. IX).

66. *Régions inférieures de l'atmosphère.* — Au-dessous de cette enveloppe est

(¹) Les observations de Respighi sur la scintillation se rapportent peut-être à ces niveaux très élevés (*Nuovi Lincei*, 1868).

le domaine de l'équilibre convectif, qui ne dépasse probablement pas quinze ou vingt kilomètres et comprend cependant les neuf dixièmes environ de la masse de l'atmosphère. Nous venons de voir que l'action propre des mélanges a pour effet d'uniformiser le niveau inférieur des couches nuageuses les plus hautes de l'atmosphère; la surface de séparation entre deux zones contiguës peut donc, ou s'étendre depuis le sol jusqu'à ce niveau élevé où la pression uniforme est de l'ordre de un dixième d'atmosphère, ou bien se refermer sur elle-même, isolant une zone de calmes peu épaisse. Les deux zones ainsi superposées peuvent être animées de mouvements concordants et en équilibre convectif dynamique, tout en différant de nébulosité, comme la couche de nuages évaporés qui a pris naissance sous le nuage chaud (*fig. 45*). On peut donc rencontrer des zones assez sèches pour être limpides dans toute leur hauteur utile; ou des zones dans lesquelles flotte une couche de nuages d'épaisseur limitée. Nous examinerons successivement tous les cas possibles, eu égard aux conditions d'égalité de pression des deux zones, là où elles sont contiguës.



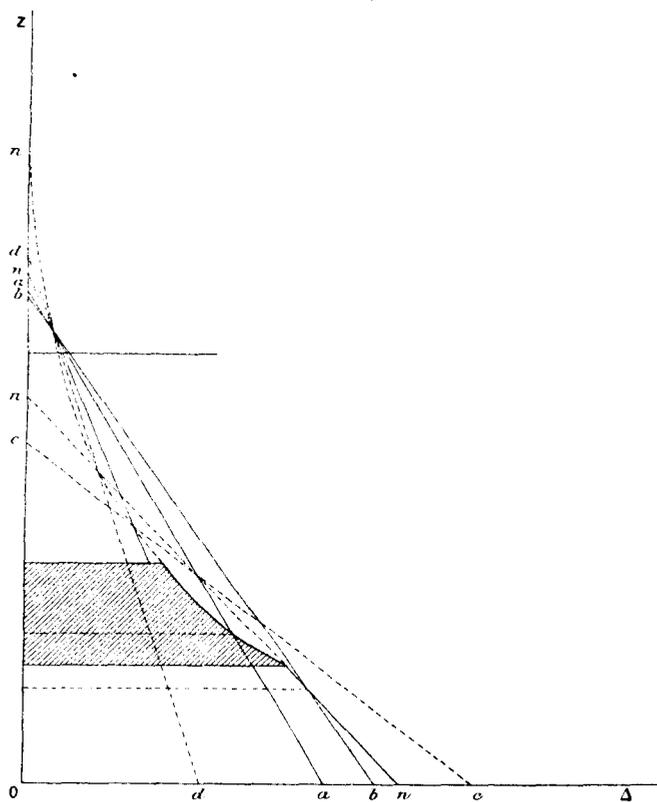
CHAPITRE VII.

ZONES CONTIGUES. ENVAHISSEMENTS ET NUAGES.

Distribution des densités dans deux régions voisines, l'une claire, l'autre couverte.

67. L'égalité de pression, à deux niveaux différents, malgré la distribution différente des densités D avec la hauteur z , exige que les courbes représentant ces densités D aient même aire et, par conséquent, se coupent entre les

Fig. 17.



deux niveaux; les courbes en $\Delta = D^{0,1}$ se coupent à la même hauteur que les courbes D , mais l'importance de la différence des aires est d'autant plus

grande que la densité est plus grande (1); l'aire au-dessus du niveau d'égalité de densité est beaucoup plus grande qu'au-dessous.

D'autre part, à égalité de pression au même niveau, une courbe monte d'autant plus vite et plus haut que la densité est moindre. Cela fixe les pentes relatives des couches contiguës limpides supérieure et inférieure. En particulier, au niveau supérieur d'égalité de pression, l'air de la zone entièrement limpide est nécessairement plus dense que celui de la couche partiellement nuageuse, pour que l'égalité de pression soit possible plus bas, sans changement notable de latitude du haut en bas de la surface de séparation.

Nous nous occuperons d'abord du cas où il n'y a qu'une seule couche nuageuse.

a (fig. 47). Couche nuageuse épaisse et basse. — Le niveau d'égalité de densité se trouve dans l'épaisseur du nuage.

b (fig. 47). Couche nuageuse élevée. — Le niveau d'égalité de densité se trouve dans l'air limpide au-dessous du nuage.

Ce sont les deux seules positions possibles du niveau d'égalité de densité, qui ne peut jamais se trouver au-dessus du nuage. Étudions-les séparément.

a. Couche nuageuse épaisse et basse. — Niveau d'égalité de densité dans le nuage.

68. La forme de la surface de séparation et la marche des mélanges ressemblent tout à fait à celles déjà étudiées pour l'atmosphère entière (fig. 45 et 46). Le mélange de deux couches limpides se fait comme celui de deux masses nuageuses; aussi, la surface supérieure du nuage joue maintenant dans le schéma le même rôle que jouait la base du nuage le plus élevé.

$$a. - 1^{\circ} \begin{cases} \text{Côté polaire.} & \text{Vent d'Est, humide, froid, nuageux.} \\ \text{Côté équatorial. . . .} & \text{Vent d'Ouest, sec, chaud, clair.} \end{cases}$$

En haut, le vent d'Ouest s'étale au-dessus du nuage dont le bord, découpé par les mélanges alternativement descendants et ascendants, se désagrège; la zone

(1) Condition :

$$\int_0^h (D' - D) dz = 0.$$

Or,

$$D' - D = \Delta'^{2,5} - \Delta^{2,5} = 2,5 \Delta^{1,5} (\Delta' - \Delta) + \dots;$$

l'écart relatif des densités étant nécessairement petit, la condition est sensiblement

$$\int_0^h \Delta^{1,5} (\Delta' - \Delta) dz,$$

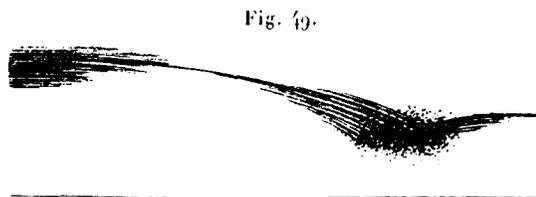
qui donne à une même différence $\Delta' - \Delta$ une importance d'autant plus grande que Δ est plus grand et, dans le cas actuel, que z est plus petit.

de mélange s'étend surtout du côté équatorial ; sous le nuage, se produisent des éclaircies de plus en plus fréquentes, avec de rapides variations de température



très prononcées. Sous le ciel clair, les nuages gagnent de plus en plus, le vent d'Ouest est remplacé par des brises alternatives ou par des rafales froides venant du pôle et de l'Est.

69. L'opposition des mouvements sous le nuage et dans son épaisseur produit souvent une circulation qui donne aux nuages une forme tout à fait caractéristique. Le bord du nuage, évaporé par le mélange et entraîné vers l'équateur, prend un aspect frangé de plus en plus mince ; une masse grossièrement lenticulaire, partiellement évaporée, plus froide que les deux constituants, plus lourde par conséquent, tombe rapidement en s'étalant dans la direction de la ligne des pôles. Sous cette chute rapide d'une masse plus lourde, l'air sous-jacent ascendant, au lieu de suivre le circuit complet, s'échappe par le plus



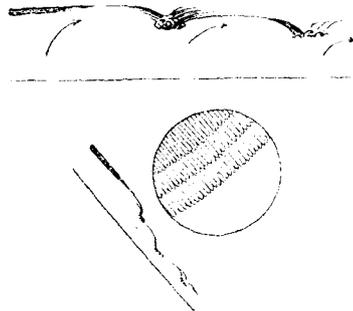
court chemin en une multitude de jets d'abord sur tout le contour de la masse, puis à travers cette masse elle-même ; il la perce, comme une écumoire, d'une multitude de bulles qui la brassent en tous sens, s'y mêlent et, finalement, l'entraînent un peu plus haut ; ce mouvement provoque une détente adiabatique de cette masse saturée, qui se condense un peu plus complètement, d'une manière irrégulière dans toute sa masse ; la nuée qui en résulte semble en ébullition (*fig. 49*).

Si la surface est très stable, presque horizontale, agitée seulement d'un clapotis serré, les transformations sont assez lentes ; les jets disparaissent pendant que des nappes de *finés pommelures* se forment plus bas, grossissent, puis s'évaporent sans changer de forme. Si la surface assez fortement inclinée sur l'horizon, peu stable, est agitée d'une longue houle, c'est de chaque crête de la houle que partent à la fois des centaines de jets parallèles, terminés par des

touffes bouillonnantes bien alignées. L'apparence rappelle tout à fait celle d'une vague régulière qui déferle dans toute sa longueur sur une grève de sable en moutonnant et laissant derrière elle une trainée d'écume. Ce mouvement, qui demande un quart d'heure ou une demi-heure pour s'achever, se produit à la fois sur le bord entier du courant nuageux.

70. Ce premier stage du mouvement a, en somme, détaché une bande de nuages du bord du courant, et l'a en partie dissipée, puis fait renaître plusieurs centaines de mètres plus loin et quelques dizaines ou centaines de mètres plus bas. La chute de ces touffes a interrompu le circuit qui les produit et provoqué un mouvement ascendant de l'air au sein de la touffe même; ce mouvement ascendant va exercer sur cette rangée de touffes la même action : les évaporer et les faire reparaitre beaucoup plus loin et un peu plus bas, pendant que la circu-

Fig. 50.



lation du bord du nuage, un instant ralentic, reprend sa force et reproduit une nouvelle rangée de touffes à peu près au même lieu que la première; chacune des rangées de touffes subit le même sort et, au bout de quelques heures, le ciel paraît couvert de bandes d'écume parallèles d'autant plus minces et basses qu'elles sont plus éloignées du bord de la masse compacte de nuages. Chacune de ces bandes d'écume est bordée d'une frange de filaments, qui montrent bien l'ordre de superposition (*fig. 50*).

Douze ou vingt-quatre heures après leur invasion, ces bandes écumeuses se sont étalées, diffusées, et forment un voile filamenteux à plusieurs étages enchevêtrés, qui couvre le ciel entier, où il paraît ramper.

Ce premier stage de l'invasion ne peut être perçu que par les observateurs qui se trouvent au moment favorable sous la bande, large d'une centaine de kilomètres au plus, où il se produit dans toute sa pureté. Malgré cette circonstance défavorable, il ne s'est pas écoulé d'année où je n'aie eu l'occasion de l'observer cinq ou six fois au moins au moment même de sa naissance.

Ces nuages *en vagues parallèles descendantes*, dont l'ensemble a un caractère de

régularité saisissant, n'ont pas de dénomination particulière. Les atlas n'en reproduisent pas d'exemples.

71. *a.* — 2° { *Côté polaire*. *Vent d'Est, sec, chaud, clair.*
 } *Côté équatorial*. *Vent d'Ouest, humide, froid, nuageux.*

En bas, le bord du nuage s'évapore en descendant, d'une manière continue, sans alternatives; une nappe froide et continue s'étale sur le sol et fait reculer le courant d'Ouest nuageux vers l'équateur.

Au-dessus du nuage, le mélange est ascendant vers le pôle. Ce mouvement de séparation, au niveau supérieur du nuage, doit avoir pour conséquence la production de quelques ondulations à ce niveau (*fig. 51*).

Fig. 51.



Le bord du nuage a une frange pendante qui s'évapore; pourtant, il peut arriver que, sous ce mouvement descendant, une partie des gouttes atteignent le sol en pluie ou neige très froide, avant d'être évaporées.

Presque tout le nuage recule vers l'équateur, pendant qu'un voile élevé très mince gagne vers le pôle.

Par grande différence de température et faible différence de vents, ce voile est uniforme.

Par faible différence de température et grande différence de vents, le voile est remplacé par une succession de franges écumeuses ascendantes, formées chacune d'un nombre immense de jets parallèles équidistants.

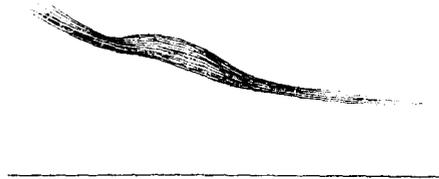
Si sec que soit le vent d'Est, froid en haut, le mélange avec l'air presque saturé et chaud, au-dessus du nuage, est ou bien saturé, ou près de l'être; soit par le seul mélange, soit par la détente qui accompagne le mouvement ascendant du mélange, des nuages très légers doivent apparaître. Ces nuages s'étendent presque horizontalement du côté polaire, en voile uniforme, si la surface de séparation était très stable par faible différence de vents et grande différence de densités. Avec cette grande stabilité, qui exige un grand excès de densité de l'air limpide en haut, de l'air nuageux en bas, les vents peu différents laissent la surface calme ou agitée seulement de clapotis à courte période et à courte longueur d'onde, progressif dans le sens du courant le plus fort.

Ce clapotis est mis en évidence par la scintillation des étoiles, et beaucoup mieux par les ondulations progressives qu'on voit entrer par un bord de l'image du Soleil, et sortir par le bord opposé.

72. *Houle.* — Si la surface est peu stable, assez fortement inclinée sur l'horizon, et si les vents contigus ont des vitesses très différentes, une houle pro-

fonde, et à grande longueur d'onde (¹), pourra prendre naissance; de chaque crête de houle partira un jet de mélange ascendant vers le pôle; les nuages qui en résultent seront coordonnés en longues files parallèles. L'aspect de chacun d'eux résulte exactement du mouvement ascendant et du changement progressif de composition du mélange. En se mêlant à l'air froid du vent d'Est, l'air tiède du vent d'Ouest, saturé au-dessus du nuage, commence à se condenser; à peu de distance du bord supérieur du nuage apparaît un mince fil blanc rectiligne; ce fil se renfle de plus en plus à mesure qu'il avance, s'épaissit, s'accompagne de fils parallèles plus nombreux, jusqu'au moment où le mélange en parties à peu près égales donne la condensation maximum; au delà, la proportion de la masse pénétrée continuant à croître, la condensation diminue, chaque filament s'amincit, et finalement s'atténue et devient invisible. En même temps, la vitesse du jet, grande au départ, s'est peu à peu éteinte; aussi le maximum de condensation n'est pas du tout au milieu de la longueur du jet; il forme une espèce de touffe effilée, rattachée à son point d'origine par quelques longs filaments (*fig. 52*).

Fig. 52.



Enfin, dès que la condensation se produit, la température effective du jet est supérieure à la température moyenne du mélange, mais reste comprise entre les températures extrêmes des composants; il résulte de cet excès de température une tendance au mouvement ascensionnel, maxima au moment du maximum de condensation, et efficace surtout quand le mouvement horizontal est atténué, c'est-à-dire à l'endroit où se produit la touffe la plus épaisse.

De tout cela résulte dans tous ses détails la forme de chacun des nuages produits par les jets.

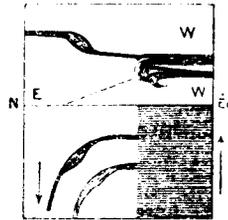
Ce sont des *filaments*, à peu près perpendiculaires au courant général, dont l'extrémité s'épaissit peu à peu, se relève en formant une touffe assez nourrie, et enfin se termine par une courte et mince frange presque horizontale comme le début du jet.

A mesure que les proportions changent, la vitesse du mélange change aussi; marchant d'abord vers l'Ouest, comme le courant nuageux, le jet retarde de plus en plus, en même temps qu'il se relève, et se recourbe vers l'arrière. La touffe,

(¹) HELMHOLTZ, *Sitz. Ac. Berlin.*, § VI; 1889. La longueur d'onde peut atteindre ou dépasser 1^{km}.

formée de parties à peu près égales, n'a qu'un mouvement lent, les fils du début qui marchent plus vite vers l'Ouest, la chevelure finale qui est plus retardée et même participe au mouvement vers l'Est du courant clair finissent par s'étirer et laisser la touffe isolée. Chaque jet est ainsi concave vers l'arrière et courbé en S vers le haut, comme le représente en projection horizontale et en projection verticale sur le méridien le schéma ci-contre (*fig. 53*).

Fig. 53.



73. *Aspect du Ciel.* — Imaginons plusieurs fils pareils associés de manière que les branches horizontales du début forment un plan oblique à l'horizon et nous aurons une forme souvent réalisée par l'association des jets qui suivent chaque jet principal.

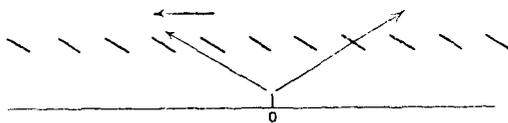
Il faut maintenant nous représenter les différents aspects sous lesquels ces jets peuvent s'offrir à l'observateur suivant sa position et la direction de son regard. Les crêtes des ondes dont le déferlement donne ces jets, distantes de quelques centaines de mètres au plus, se succèdent par milliers avec la régularité de la houle tout le long d'une rive d'attaque de plusieurs centaines de kilomètres. Quelle que soit l'étendue de Ciel visible, d'un bout de l'horizon à l'autre, tous les jets sont identiques; c'est le premier fait qu'il faut avoir bien présent à l'esprit pour comprendre comment la diversité des apparences n'est qu'un simple résultat de perspective.

Supposons d'abord que la surface de contact des deux couches se trouve à peu près au zénith de l'observateur. Si le plan des jets est vertical, l'apparence des deux extrémités de la ligne de jets est la même; des deux côtés, chaque touffe d'un jet paraît relevée et cache en partie le jet suivant. Au loin on ne distingue plus les jets individuels, mais seulement une sorte de voile à peine opalin limité par un bord un peu plus blanc à limites indéfinies.

Si le plan des jets n'est plus vertical, mais oblique, le regard de l'observateur les voit à peu près comme les lattes d'une jalousie (*fig. 54*). Les deux bouts de la ligne de jets parallèles ont un aspect tout à fait différent. C'est dans une direction quelquefois très oblique que le regard peut glisser entre les jets contigus, parallèlement à leur plan, reconnaître qu'ils sont distincts, analyser leur forme, suivre leurs mouvements individuels. En se retournant pour regarder à la même

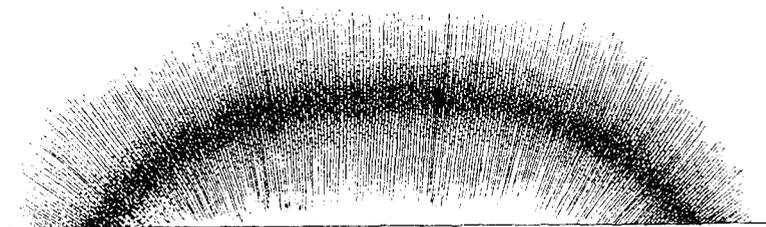
hauteur au-dessus de l'horizon, l'observateur voit se superposer l'un derrière l'autre plusieurs jets, et ne distingue plus rien qu'un voile confus. Les jets n'en sont pas moins distincts et vus comme tels par un observateur situé à quelques kilomètres de distance; la perspective seule a changé.

Fig. 54.



Supposons maintenant qu'au lieu de se produire au zénith l'envahissement se produise près de l'horizon. Ce que l'observateur verra le mieux, c'est la longue ligne arquée formée par les touffes extrêmes, bien distinctes l'une de l'autre au milieu de l'arc, si la masse envahie est calme; moins distinctes, inégalement vers les deux bouts de l'arc, et d'ailleurs inclinées, si la masse envahie elle-même en mouvement recourbe l'extrémité de chaque touffe (*fig. 55*).

Fig. 55.



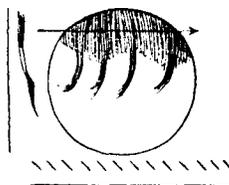
Si l'observateur est dans la masse envahie, chaque touffe vue en bout sera nette. Mais si l'observateur est dans le courant envahissant, ce qu'il voit directement c'est le filament au delà duquel est la touffe, et l'ensemble du nuage aura l'apparence d'une plume avec de nombreuses barbes distinctes, verticales ou inclinées, rattachées à une tige lointaine et plus éclatante.

Malheureusement, jusqu'à présent, les instructions météorologiques officielles n'ont fourni que de très insuffisantes descriptions des nuages en jets, et par conséquent ne les ont pas nommés, tandis que les observateurs, comme Poëy, ont multiplié les noms différents pour une même forme. Malheureusement aussi les trois dénominations officielles fondamentales, *cumulus*, *stratus*, *cirrus*, n'ont pas le même caractère. Les deux premières se rapportent nettement à des formes déterminées quel qu'en soit le niveau; la troisième se rapporte à un niveau, celui des aiguilles de glace, et non à une forme. Aussi y a-t-il des cirrus de

détente, de rayonnement, de mélange, très différents les uns des autres. Inversement, il y a des nuages de mélange à tous les niveaux; mais comme c'est dans les hautes régions de l'atmosphère que l'humidité est moindre, c'est au niveau des cirrus qu'on en observe les formes les plus pures.

74. *Notation.* — A la dénomination officielle, il est indispensable d'adjoindre une indication plus précise dans la description, par exemple *nuages en fusée ascendante*, verticale ou oblique; on devra noter l'orientation de la rive envahie,

Fig. 56.



le côté de l'horizon (et, si l'on peut, la hauteur) où les jets sont le mieux séparés les uns des autres, le côté de la touffe et celui du jet délié; enfin le sens de la courbure horizontale, et la direction du transport général. C'est ce qu'indique très simplement un croquis schématique ci-joint qui s'explique de lui-même (1) (fig. 56).

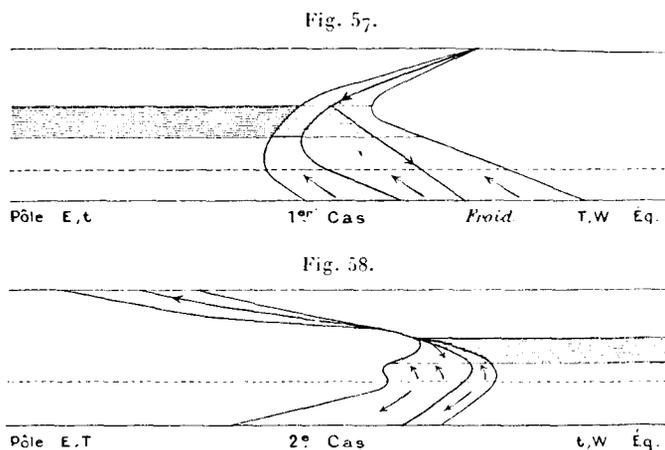
Transformations progressives. — Il ne se passe guère de mois où cette forme d'envahissement ne se présente nettement visible, avec les jets très distincts si l'on voit le début de l'envahissement, plus étalés, et moins nets, si l'envahissement s'est fait au loin plusieurs heures avant d'arriver au zénith de l'observateur.

Plus tard encore, et plus loin, l'aspect devient tout à fait confus; le Ciel est couvert d'un voile gris où l'on distingue encore les deux directions filamenteuses, croisées à des niveaux différents, des jets et de la touffe étirée par le mouvement de la masse envahie. La direction du jet peut encore être discernée; c'est celle des filaments les plus bas, ordinairement à peu près perpendiculaire au mouvement d'entraînement de l'ensemble de la masse.

(1) Ce n'est qu'après des observations répétées que j'ai acquis la conviction de l'uniformité du phénomène réel sur plusieurs centaines de kilomètres de longueur de rivage, et que, dès lors, toutes les apparences observées de tous les côtés de l'horizon sont devenues facilement intelligibles.

b. — Couche nuageuse élevée. Niveau d'égale densité au-dessous du nuage.

75. Plus haut que le nuage, tout se passe comme dans le cas précédent (a); mais l'inversion des mouvements de l'air des couches inférieures accentue beau-



coup l'allure descendante des jets en fusée éclaboussante par vent d'Est nuageux, et peut même les faire apparaître par vent d'Ouest nuageux, si les nuages sont très élevés, comme on le voit bien d'après les figures schématiques ci-dessous (fig. 57 et 58).

Fig. 59.

δ 1^{er} Cas



Fig. 60.

δ 2^e Cas



Dans ce dernier cas, lorsque le nuage est très élevé, il peut arriver que le mouvement ascendant atteigne la limite des régions supérieures de l'atmosphère et, suivant l'état de l'humidité de celles-ci, s'y évapore ou se condense en voile de cirrus très peu dense.

CHAPITRE VIII.

LES DEUX ZONES NUAGEUSES. ENVAHISSEMENTS ET NUAGES. PLUIE ET GRÊLE.

Deux zones nuageuses contiguës.

76. Il est extrêmement rare que l'une des zones soit assez sèche pour ne contenir aucune couche nuageuse quand la surface de séparation est nettement ascendante, c'est-à-dire quand la différence des vitesses est grande, et la différence des densités petite. Supposons donc les deux couches nuageuses, soit à des niveaux très différents et bien distincts (A), soit à des niveaux voisins et enchevêtrés (B).

A. *Couches nuageuses à des niveaux très différents.* — On doit s'attendre à ce qu'il y ait, le plus souvent, deux niveaux d'égale densité, qui peuvent être de l'un ou l'autre des types *a, b* étudiés au Chapitre précédent; nous les désignerons par deux lettres, *aa, ab, ba, bb*, la première lettre se rapportant au niveau le plus élevé.

Avec la condition d'égalité de pression dans toute l'épaisseur des deux zones, sans changement notable de latitude, il peut encore arriver qu'il n'y ait qu'un seul niveau d'égale densité, comme au Chapitre précédent, l'une des zones étant à peine nuageuse, soit au-dessus soit au-dessous de la première. Cela nous fournit quatre nouveaux types : *oa, ob, ao, bo*.

Pour tous ces types, il suffit d'associer les figures correspondantes du Chapitre précédent et d'examiner les complications qui peuvent résulter de cette superposition. On obtient ainsi les résultats qui suivent.

77. Les annotations relatives à la pluie, à la grêle, aux orages, résultent des règles suivantes, qui me paraissent tout à fait évidentes, bien que contraires à une habitude de langage, très répandue, qui fait confondre condensation et pluie.

Tout accroissement de condensation, soit par détente, soit par mélange, est accompagné d'un allègement relatif de l'atmosphère qui favorise le mouvement ascendant et soutient le mélange. *Jamais la pluie ne résulte d'un accroissement de condensation.*

Toute évaporation par mélange est accompagnée d'un refroidissement intense qui fait descendre le mélange; les gouttes d'eau non soutenues tombent et, quand le nuage n'est pas trop éloigné du sol, il pleut. *La pluie résulte toujours d'une évaporation incomplète par mélange, avec abaissement de température.* La pluie ne peut paraître chaude que lorsque la couche d'air inférieure est très froide par rapport à la couche supérieure, et lorsque les rafales précipitent violemment les gouttes d'eau sur le sol.

Ces deux règles théoriques sont d'ailleurs conformes à l'observation courante; tout le monde sait qu'un nuage qui va donner de la pluie perd sa forme limitée à la base, laisse pendre une frange descendante dont la décroissance d'opacité montre bien qu'elle s'évapore progressivement.

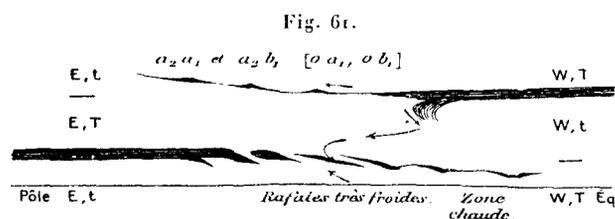
La pluie par averses est surtout intense lorsqu'elle résulte de la chute d'un mélange évaporant à travers une nappe nuageuse sous-jacente.

Lorsque les deux nuages sont à des niveaux très différents dans les vents contigus, une grande différence de propriétés électriques est vraisemblable (1); j'indique *orages* là où le mélange des couches nuageuses se produit.

Lorsque ce mélange est accompagné de mouvements verticaux inverses, qui produisent des circulations d'un nuage à l'autre, j'indique *grêle possible*.

78. $a_2 a_1$ et $a_2 b_1$ (*fig. 61*). — Si le nuage du vent d'Ouest n'est pas très épais, l'évaporation du mélange est complète, avant qu'il atteigne les nuages bas, eux-mêmes presque évaporés, du vent d'Est.

Si même le nuage de vent d'Ouest est très élevé, le refroidissement dû à l'évaporation est rapidement compensé par le réchauffement dû à la compression adiabatique à l'état limpide, et une onde tiède ou chaude sépare le vent d'Ouest de l'anneau de rafales froides (*fig. 61*).

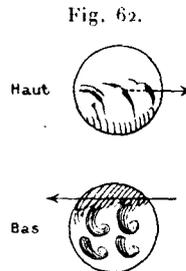


Les flèches indiquent le mouvement du mélange
aux différents niveaux.

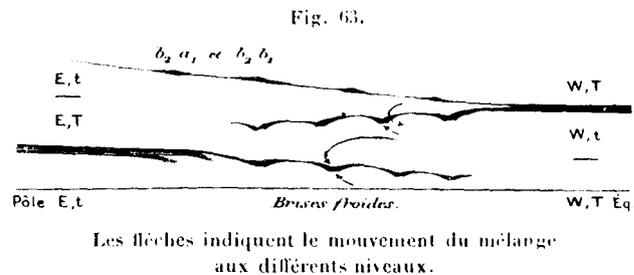
Dans toute cette zone intermédiaire, le ciel s'éclaircit. Les jets élevés sont concaves vers l'Ouest; les nuages bas vers l'Est (*fig. 62*).

(1) Au sujet du rôle des perturbations solaires dans la production de ces orages, voir *Origine, variations et perturbations de l'Électricité atmosphérique*, par Marcel Brillouin; A. F.-A. S. Congrès de Saint-Étienne, 1897; ou *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 30 août 1897.

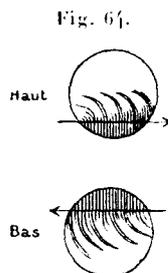
Un peu de pluie, quelques gouttes, au bord du vent d'Ouest, est possible si les niveaux des nuages sont peu différents.



79. $b_2 a_1$ et $b_2 b_1$ (fig. 63). — Les alternatives de mélanges ascendants et descendants empêchent toute condensation violente et toute chute rapide ; les



jets écumeux des différents niveaux sont en haut concaves vers l'Ouest, en bas concaves vers l'Est (fig. 64). Après quelques heures l'équilibre convectif est

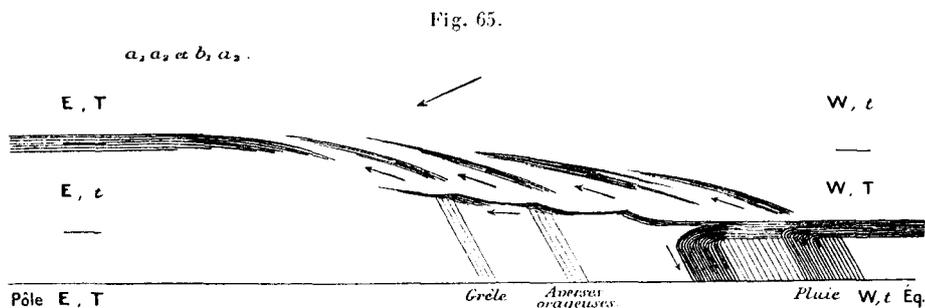


établi dans toute la hauteur de la zone de mélange, avec un état brumeux général, dans lequel on cesse même bientôt de percevoir les filaments entrecroisés à différents niveaux.

Temps gris, brumeux, froid, calme après quelques heures de brises alternantes.

80. $a_1 a_2$ et $b_1 b_2$ (fig. 65). — Le mélange ascendant qui provient du nuage bas de vent d'Ouest est lui-même nuageux par détente.

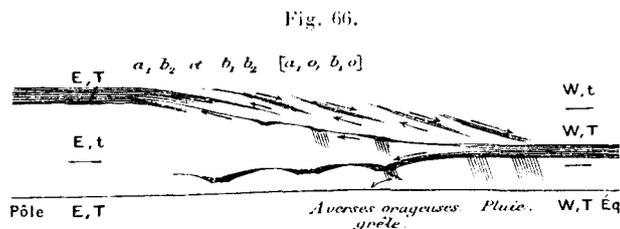
Le mélange descendant venant du vent d'Est, froid par évaporation, avance vers l'équateur; car, à mi-hauteur, le vent d'Ouest est chaud, et finalement c'est l'accroissement de condensation qui l'emporte.



Au bord des deux zones, ces mélanges ascendants et descendants se rencontrent, par alternatives, et donnent des averses locales et temporaires. A l'extrême bord polaire du vent d'Ouest, la circulation caractéristique des situations a_1, b_1 , est tout à fait favorable à la production de la *grêle*. Toute cette bande peut être le siège de phénomènes électriques intenses.

Lorsque les deux zones se sont étendues l'une au-dessus de l'autre, la chute des nuages à peine évaporés du vent d'Est dans la masse nuageuse inférieure amène des pluies abondantes tièdes sous tout le bord polaire du vent d'Ouest.

81. a_1, b_2 et b_1, b_2 (fig. 66). — Situation tout à fait analogue à la précédente.

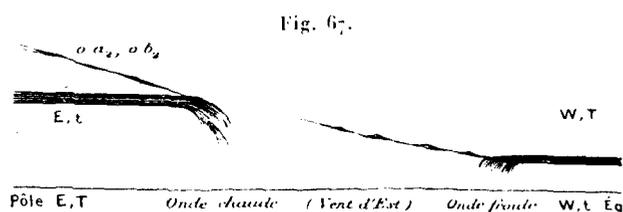


Les flèches indiquent le mouvement du mélange aux différents niveaux.

82. oa_1, ob_1 . — Les situations oa_1, ob_1 sont presque identiques à $a_2 a_1, a_2 b_1$ (fig. 61); mais le mouvement ascendant supérieur et le voile de cirrus vers le pôle manquent. En outre, le grand excès de température du vent d'Est, depuis le nuage inférieur jusqu'en haut, le rend envahissant. Les nuages élevés du vent d'Ouest reculent vers l'équateur, le haut du ciel se dégage. L'anneau de mélange inférieur, à nuages déchiquetés et à rafales froides, s'étale des deux côtés, mais moins vite du côté équatorial que du côté polaire. Il forme bientôt une vaste nappe pommelée grise.

83. a_1o, b_1o . — De même, les situations a_1o, b_1o sont tout à fait analogues à a_1b_2, b_1b_2 (*fig. 66*). Mêmes nuages, mais le grand excès de densité du vent d'Ouest au-dessous du nuage le plus élevé lui donne un caractère envahissant. Les nuages bas du vent d'Ouest s'avancent rapidement vers le pôle, surtout les jets les plus bas; le mouvement inverse se produit en haut. Il se forme ainsi un anneau de giboulées froides, avec ou sans grêle, qui gagne rapidement vers le pôle et vers l'équateur.

84. oa_2, ob_2 (*fig. 67*). — Le haut nuage d'Est s'évapore en descendant et, froid au début, se réchauffe par compression adiabatique limpide. Le haut du

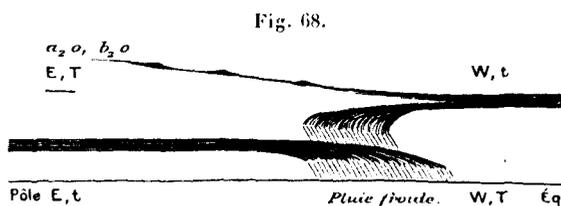


nuage est rejeté en haut en jets de cirrus ascendants au-dessus du nuage lui-même. Le grand excès de température du haut du vent d'Ouest le fait avancer rapidement vers le pôle en haut. Il fait disparaître le nuage d'Est et le rejette aux limites supérieures de l'atmosphère; il lui substitue des cirrus en jets ascendants marchant de l'Ouest. En bas, le nuage d'Ouest recule aussi vers l'équateur.

Dans l'intervalle des deux nuages, le ciel s'éclaircit; en bas, le vent d'Est chaud prend la place du vent d'Ouest froid, refoulant une onde fraîche, avec ou sans quelques gouttes de pluie; une onde chaude sous le bord du nuage d'Est recule avec lui vers le pôle.

ob_2 n'en diffère que par les nuages en éclaboussures du bord inférieur du vent d'Ouest.

85. a_2o, b_2o (*fig. 68*). Le grand excès de densité du vent d'Est au-dessous



du nuage supérieur le rend rapidement envahissant en bas; l'inverse se produit en haut. Le mélange descendant, partiellement ou totalement évaporé, qui pro-

vient du vent d'Ouest tombant dans la masse du nuage d'Est, y provoque la chute de pluie froide. Comme les deux nuages s'avancent l'un au-dessus de l'autre, la zone de superposition et de pluie s'étale des deux côtés, polaire et équatorial. C'est une pluie continue par vent d'Est froid en bas, et nuages bas marchant de l'Est.

b_2o diffère en ce que la chute du nuage supérieur est intermittente, la pluie est moins continue; il y a des éclaircies, pendant lesquelles on peut apercevoir à travers les couches basses les cirrus en voile filamenteux du vent d'Ouest, allant vers le pôle.

86. B. *Couches nuageuses à des niveaux voisins et empiétant l'une sur l'autre.* — Il y a alors une certaine épaisseur, commune aux deux couches, dans laquelle et dans le voisinage de laquelle le mélange accroît la condensation; le caractère du mélange est à peu près le même que pour deux zones limpides. Au-dessus et au-dessous, il faut recourir aux figures du Chapitre VII pour tracer les schémas.

On construit ainsi facilement les figures schématiques suivantes, dans le cas où il n'y a qu'un seul niveau d'égale densité, nécessairement situé près de la base du nuage inférieur, sans qu'il soit nécessaire de distinguer si le niveau est dans le nuage ou au-dessous.

87. B, (*fig. 69*). Tout le haut du mélange descend; le mouvement est seulement ralenti dans l'épaisseur commune aux deux nuages. Le mouvement as-



endant de l'air en bas donne naissance à un anneau de rafales bordé, du côté polaire, par une bande de pluie due à la chute des nuages froids incomplètement évaporés du vent d'Ouest dans les nuages imbriqués du vent d'Est. L'anneau de rafales s'étale des deux côtés.

88. B₂ (*fig. 70*). Il y a quatre épaisseurs alternativement ascendantes et descendantes.

Le haut du nuage d'Est est rejeté en voile de cirrus vers le pôle.

Le bas du nuage d'Ouest s'évapore en descendant et peut donner au bord quelques gouttes de pluie.

La zone moyenne est le siège d'un grand nombre de circulations verticales qui, sans changer la masse nuageuse, la roulent, la morcellent, l'évaporent d'un côté, la condensent de l'autre. Cet anneau élevé de brises folles et de bouillonnement peut être en même temps le siège de phénomènes orageux, d'éclairs incessants, mais sans pluie notable (orages de chaleur).

Fig. 70.



89. B₃. Nuage très mince dans le vent d'Ouest, chaud; même situation que par vent d'Ouest limpide (Chap. VII, *fig.* 48).

90. B₁ (*fig.* 71). Nuage très mince dans le vent d'Est chaud. Ce nuage mince rompt le mouvement descendant depuis le haut du nuage d'Ouest, et crée à

Fig. 71.



mi-hauteur une couche ascendante qui morcelle le haut du nuage d'Ouest en jets élaboussants : à tous les niveaux, les nuages sont concaves vers l'Ouest.

Le bas du nuage pend et s'évapore avec un peu de pluie froide.



CHAPITRE IX.

INSTABILITÉS.

91. *Zones superposées.* — Nous avons vu comment se dispose d'elle-même la partie presque horizontale de la surface de séparation entre deux zones lorsque la distribution des densités ou les conditions d'origine limitent la hauteur de l'atmosphère occupée par l'une des zones.

L'équilibre de la partie presque horizontale, réglé surtout par la différence des densités, a déjà été étudié au Chapitre II.

Latéralement, les conditions ressemblent beaucoup à celles qui viennent d'être étudiées aux Chapitres VII et VIII; mais il peut arriver fréquemment que le niveau d'égale densité, pour lequel la surface devient parallèle à la ligne des pôles, n'existe pas réellement dans les limites de la hauteur commune aux deux zones. D'où deux cas nouveaux à examiner (*fig.* 47, p. 116):

c. La surface descend vers le sol;

d. La surface s'élève vers le ciel.

L'égalité de pression est réalisée au niveau inférieur (*c*) ou au niveau supérieur (*d*). A égalité de pressions, dans deux masses d'air limpides inégalement denses, la plus lourde est celle dont la densité décroît le plus vite en hauteur.

92. *c.* — Pour que la surface de séparation, partant du sol, finisse par s'étaler presque horizontalement, il faut que, au moins à partir d'un certain niveau, la différence de densité croisse en montant. L'examen de la *fig.* 47 montre que cela est possible sans intersection des deux courbes (1) (eu égard à la condition rappelée tout à l'heure) dans un seul cas, *c*, celui où l'air sec est lourd, et où la surface presque horizontale est dans la moitié inférieure du nuage. Cette masse inférieure est surmontée de deux zones distinctes, comme nous l'avons déjà vu (n° 41, p. 86). A partir du sol, la surface fortement inclinée se

(1) Avec intersection de deux courbes on retomberait sur l'un ou sur l'autre des deux cas *a*, *b*, déjà traités.

redresse vers le pôle jusqu'à l'entrée du nuage, et là s'abaisse brusquement et de plus en plus vers l'horizon (*fig. 72 et 73*).

Fig. 72.

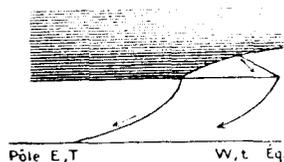
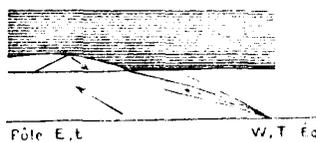


Fig. 73.



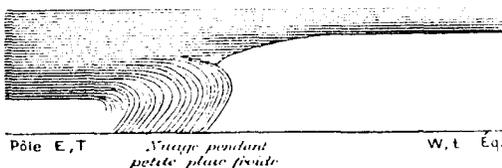
Du bord du nuage d'Ouest, naissent une infinité de nuelles imbriquées, qui pendent en s'évaporant et forment rapidement un anneau de vitesse intermédiaire (*fig. 74*). En somme le vent d'Ouest envahit rapidement le vent d'Est sous-jacent.

Fig. 74.



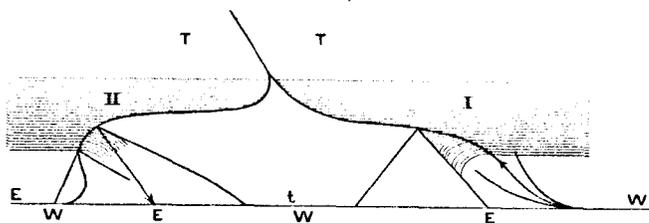
Le bord du nuage d'Est s'évapore partiellement ou complètement en descendant, et donne une petite pluie froide (*fig. 75*). État stationnaire.

Fig. 75.



L'ensemble de la masse inférieure est représenté dans la *fig. 76*.

Fig. 76.



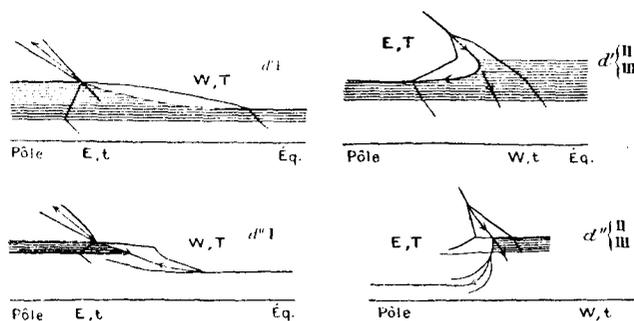
93. *d.* — Pour que la surface de séparation parte du haut de l'atmosphère il faut que, au moins au-dessous d'un certain niveau, la différence de densité croisse en descendant, et pour que ce cas soit nouveau il faut que ce niveau

atteigne ou dépasse celui du nuage. On voit sur la *fig. 47* que, en égard à la condition de pente rappelée plus haut, cela ne peut avoir lieu que dans un seul cas (*d*), celui où la couche légère est limpide; toutefois, il peut arriver que cette couche s'arrête dans l'épaisseur du nuage (*d'*), ou le traverse (*d''*).

Vent d'Ouest, nuageux, froid (types II, III).

d'. Le mouvement descendant général coupe le nuage, par chute d'une onde froide d'évaporation, là où la surface se redresse (*fig. 77*, à droite).

Fig. 77.



Le bord polaire du mélange intercalé est instable, car le vent d'Est est du côté équatorial. Du côté équatorial du mélange, le bord du nuage pend en s'évaporant.

d'. Le bord du nuage pend en s'évaporant et recule vers l'équateur. Pas d'instabilité mécanique.

Vent d'Est, nuageux, froid (type I, *fig. 77*, à gauche).

d'. Le haut du nuage est relevé en voile de cirrus ascendant vers le pôle, au-dessus du nuage même.

Le bas du nuage donne un mélange descendant froid qui coupe le nuage avec une simple frange pendante au bord épais.

Le bord équatorial du mélange intercalé est instable, car le vent d'Ouest est du côté polaire.

d'. Même rejet vers le pôle d'un voile de cirrus élevé. Formation de nuelles imbriquées du type α_1 . Pas d'instabilité mécanique.

Apparition de surfaces instables.

94. Jamais jusqu'à présent, aucune des situations étudiées n'avait fait naître d'instabilité *mécanique*. Les instabilités d'ordre thermique n'avaient pour conséquence que des mouvements de circulation verticale déchiétant les nuages, et produisant des brises folles ou des rafales. Les conséquences de l'instabilité mécanique sont tout autres. D'abord précisons bien les circonstances :

État initial. — Une zone limpide chaude flotte au-dessus d'une zone nuageuse froide. Lorsque le fond de la zone limpide descend jusqu'à la surface supérieure du nuage et commence à le pénétrer, le mélange, *très froid* par évaporation, tombe jusqu'au sol à travers le nuage; comme il conserve un excès de vitesse du vent supérieur, une des deux surfaces limites est stable, et l'autre instable: celle du côté où le nuage est le moins épais.

Le mélange, tombé en colonne verticale par son excès de densité, est entraîné avec un excès de la vitesse du vent supérieur, sans discontinuité du côté de la surface stable, avec discontinuité du côté de la surface instable.

Le bord instable est, dans les deux cas, à droite de la translation du mélange (hém. Nord) ⁽¹⁾, comme le montre la figure (*fig.* 79, 80). Le mélange gagne donc très vite sur sa droite (hém. Nord). Par suite de l'instabilité, la chute du mélange refroidi par évaporation partielle s'effectue violemment, avant que l'évaporation soit complète; la pluie tombe en abondance, et avec de violentes rafales sur ce bord.

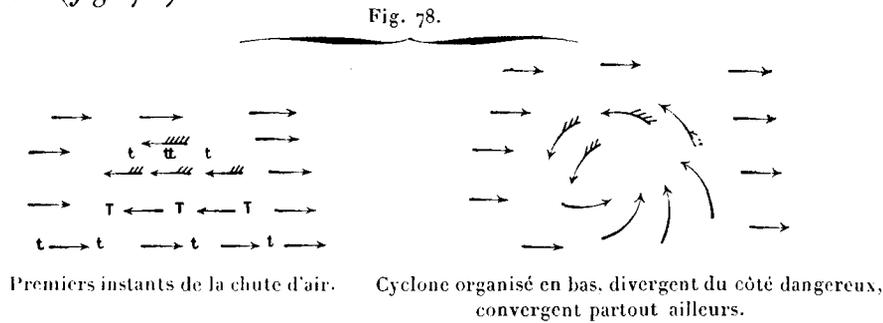
Tous ces caractères ressemblent beaucoup à ceux des cyclones. Bord dangereux à droite de la progression (hém. Nord), bord maniable à gauche. Progression déviée sur sa droite; près de l'équateur, les situations des types II, III étant seules possibles, le cyclone marche toujours de l'Est, au milieu d'une zone de vent d'Ouest ou de calmes. Il est d'ailleurs violent et unique, le mélange étant descendant dans toute la hauteur de l'atmosphère.

Sur le bord équatorial, le mouvement vertical est nul, en moyenne; ascendant faible, là où la condensation augmente, au bord extrême; descendant faible en approchant un peu plus du centre; descendant intense, au centre même où l'évaporation est maximum. La pluie tombe abondamment sur le bord dangereux; l'air est de plus en plus froid à mesure qu'on approche du centre, jusqu'au centre même s'il est encore couvert, jusqu'au bord du ciel clair et de l'évaporation complète quand le centre est dégagé. La température peut se relever au centre même, la fin de la compression adiabatique étant celle de l'air sec. Sur le bord maniable, la température inférieure à la moyenne est supérieure à celle des vents d'Est (voir *fig.* 7, Chap. I).

Le bas de la surface de séparation du côté du bord dangereux étant instable, tandis que tout le haut est stable, la masse froide de grande densité, rapidement produite par le mélange à sa partie instable, s'écoule en flots rapides du côté du bord dangereux, au ras du sol; l'alimentation par toutes les autres surfaces, qui sont stables, ne se fait que lentement; au total, la masse d'air de la région où se fait le mélange diminue; la pression s'abaisse, dans la partie limitée, en longitude, du bord des deux zones, où l'instabilité a débuté. Dès lors, autour du

(1) A gauche, hémisphère Sud, ici et dans le reste du paragraphe.

minimum de pression, le mouvement se coordonne en apparence à peu près circulairement (*fig. 78*).

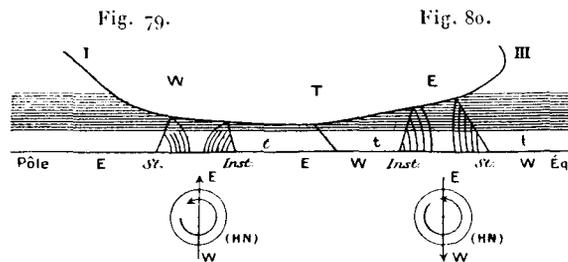


ÉTAT INITIAL (TYPE III).

- Température uniforme.
- Ciel couvert, surtout du côté de l'équateur.
- Vent uniforme, plutôt d'Ouest.
- Pression presque uniforme, décroissant lentement vers le pôle.

Il est divergent du côté dangereux, en bas; convergent partout ailleurs, surtout du côté maniable.

Une fois amorcé, ce mouvement violent, avec une surface instable d'un côté, ne peut cesser qu'en arrivant dans des régions où l'instabilité disparaît, et en s'éteignant ensuite, lentement sur mer, rapidement sur les continents. Le mouvement, s'éloignant de l'équateur, avance vers l'arête de la zone supérieure, vers la surface de séparation des deux zones inférieures dont nous avons vu la nécessité (*fig. 23, 24*; Chap. III) et passe du type *d'III* au type *d'I*, de plus en plus élargi, et finit par marcher vers l'Est, au milieu de la zone polaire.



Pour suivre le mouvement en latitude, dont nous voyons bien le caractère général, la considération des zones annulaires entourant le globe entier est évidemment insuffisante; nous reviendrons, dans un autre Mémoire, sur ce sujet, en reprenant l'étude des aires de haute pression et d'équilibre convectif limitées en longitude comme en latitude.



CHAPITRE X.

DEUX COUCHES DE NUAGES DANS LA MÊME ZONE.
LA DEUXIÈME ZONE LIMPIDE.

95. La lenteur de la diffusion de la vapeur d'eau dans les hautes régions, comparée à la transmission du mouvement par le frottement interne de l'air sans mélanges permet l'établissement d'une distribution convective des vitesses, avec une distribution irrégulière de l'humidité, au moins en hauteur. Sous l'influence des alternatives de chaleur diurne et de froid nocturne, les couches de nuages irrégulières déposées dans l'air par l'évaporation des océans ou des prairies humides, changent de niveau; en été, quand la chaleur diurne l'emporte, la circulation verticale qui s'établit entre un nuage et l'air voisin fait monter la vapeur d'eau, la distribue dans des couches d'épaisseur de plus en plus grande, et finit par évaporer le nuage, au moins s'il n'est pas trop épais, en le diluant dans une masse atmosphérique de plus en plus grande. Avant d'arriver à l'évaporation totale, ce phénomène a relevé progressivement le niveau de la condensation. Imaginons maintenant que la masse atmosphérique chargée de nuages bas au-dessus d'un océan, avance ensuite pendant assez longtemps au-dessus d'un continent sec, puis rencontre une nouvelle région humide; sous la première couche de nuages relevée par le mécanisme de dilution que je viens d'indiquer, une nouvelle couche de cumulus pourra se former, séparée de l'autre par une couche d'air moins humide, et non saturé. C'est surtout si le courant remonte vers le pôle après s'être rapproché de l'équateur que cette double couche nuageuse se formera facilement.

96. Une autre circonstance encore favorise la formation d'une double couche de nuages, à deux niveaux différents, dans une zone, d'abord à l'état de mélange graduel, mais qui peut s'être réorganisée en zone où la distribution des vitesses est convective, mais non celle de la vapeur d'eau; c'est le mélange de deux zones contiguës, à une seule couche nuageuse, dans les cas assez nombreux ⁽¹⁾ étudiés aux Chapitres VII et VIII, où aucune des couches ne se résout en pluie étendue.

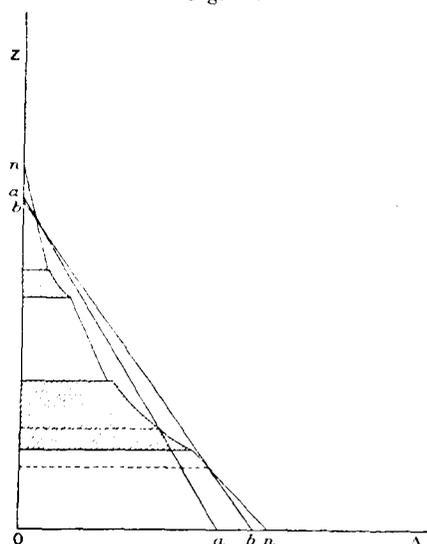
(1) Chap. VII, n° 75 (b_2), fig. 59, 60. — Chapitre VIII, n° 78 ($a_2 a_3, a_1 b_1$), fig. 61. — *Ibid.*, n° 79 ($b_2 a_1, b_2 b_1$), fig. 63. — *Ibid.*, n° 84 (oa_2, ob_2), fig. 67. — *Ibid.*, n° 85 ($a_2 o, b_2 o$), fig. 68. — *Ibid.*, n° 88 (B_2), fig. 70. — *Ibid.*, n° 90 (B_4), fig. 71.

Examinons donc comment se comporte une zone à deux couches nuageuses contiguë à une zone sèche. Deux cas extrêmes doivent être distingués suivant que la couche nuageuse la plus épaisse est au bas ou au haut de l'atmosphère.

Couche nuageuse épaisse à la partie inférieure de l'atmosphère.

97. Construisons la courbe en z et $\Delta = D^{0,1}$ qui nous fait connaître la distribution des densités. L'examen de la *fig.* 81, tout à fait analogue à la *fig.* 47.

Fig. 81.

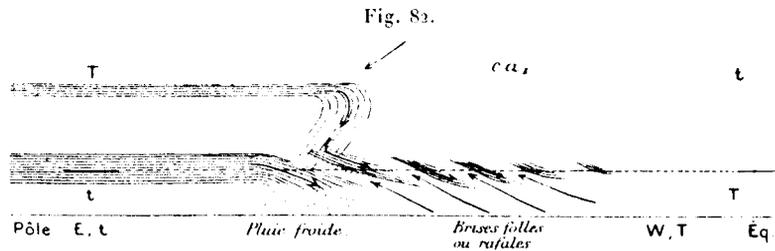


nous fait reconnaître de suite qu'il ne peut y avoir qu'un seul niveau d'égale densité entre les deux zones; ce niveau est nécessairement situé dans l'épaisseur de la couche nuageuse basse (*a*), ou au-dessous (*b*), si cette couche est épaisse et si la surface de séparation des deux zones n'est pas très étalée en latitude. La couche nuageuse supérieure est moins dense que la zone sèche (*d*).

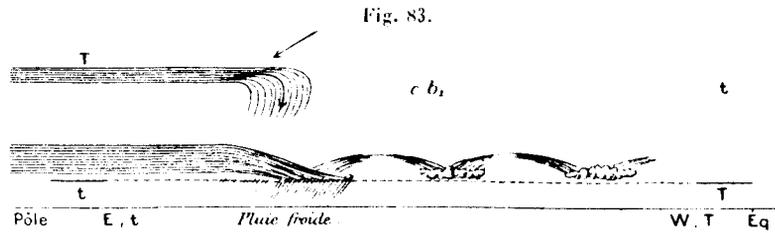
Il est alors facile, par application des règles établies aux Chapitres précédents, de représenter la marche et la forme des nuages aux différents niveaux. On y arrive plus directement en combinant les figures qui correspondent aux cas (*a*), (*b*), n° 93 du Chapitre VII, et les figures qui correspondent aux cas (*c*), (*d*) du Chapitre IX, et recherchant les conséquences de leur superposition. Dans toutes les figures qui suivent, les flèches représentent la marche envahissante, ascendante ou descendante du mélange aux différents niveaux.

Après les explications des Chapitres précédents, il me paraît suffisant de grouper ici les figures accompagnées de légendes succinctes. On reconstituera facilement les commentaires en se reportant aux Chapitres VII, IX et aux paragraphes qui correspondent aux lettres *a*, *b*, *c*, *d*, par lesquelles chaque cas particulier est désigné dans ces Chapitres.

98. *Vent d'Est nuageux froid (fig. 82, 83).*

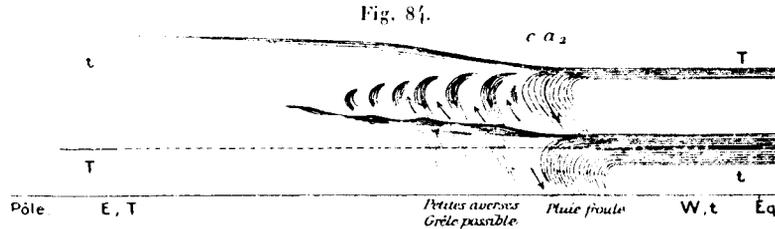


Les nuages bas, imbriqués, gagnent vers l'équateur, tout en s'évaporant.
Le nuage supérieur et la pluie froide qu'il provoque reculent vers le pôle.



Le nuage bas, en éclaboussures, gagne rapidement vers l'équateur.
Le nuage supérieur et la frange de pluie qu'il provoque reculent vers le pôle.

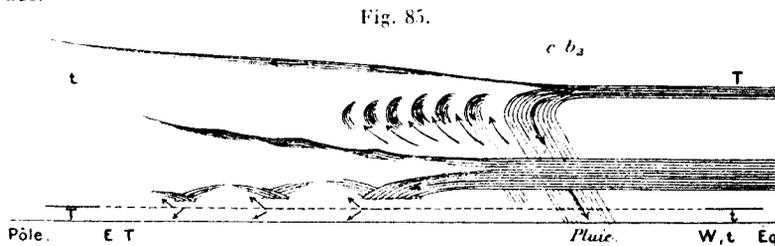
99. *Vent d'Ouest nuageux froid (fig. 84, 85).*



Le bord inférieur du nuage bas recule vers l'équateur, d'abord en donnant une pluie intense, puis une simple brume, enfin une onde froide d'évaporation.

Le bord supérieur du nuage bas, et tout le nuage élevé avancent vers le pôle; la chute du bord du nuage élevé, et des nuelles imbriquées qui s'en détachent, à travers le bord et le voile ascendant du nuage inférieur donne une série d'averses d'importance décroissante de l'équateur vers le pôle, qui marchent dans ce même sens, en s'atténuant, et perdant leur vitesse d'Ouest.

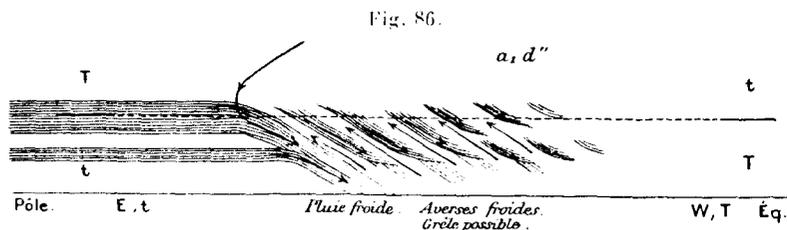
Dans l'état final, un haut voile de cirrus très mince règne au-dessus du mélange, ainsi que deux nappes de pommelures de niveau peu différent, à peu près alternantes. Le tout marche un peu plus de l'ouest que le vent d'en bas.



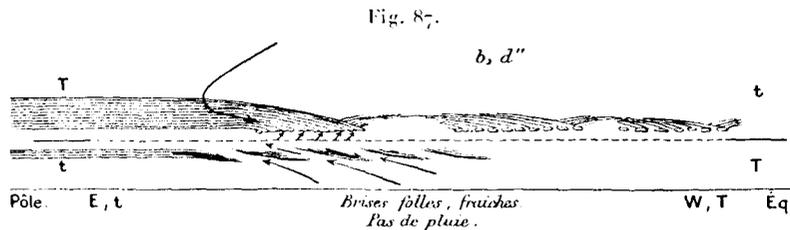
Situation presque identique à la précédente. Moins de pluie. Les nuages s'étalent plus rapidement, tous vers le pôle; le ciel se dégage moins complètement là où le mélange remplace le vent d'Ouest. Sous le voile de cirrus et les deux nappes de pommelures plane une nappe très basse de nuelles grises, informes, qui s'évaporent peu à peu.

Couche nuageuse épaisse à la partie supérieure de l'atmosphère.

100. *Vent d'Est nuageux froid* (fig. 86, 87).

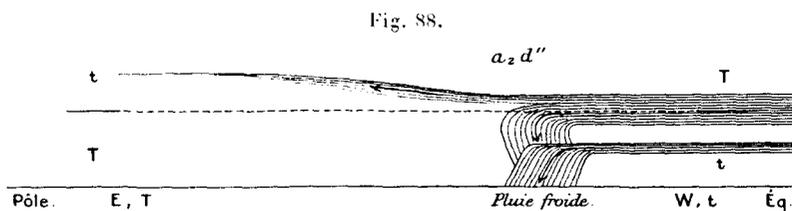


La zone de mélange s'étale des deux côtés. Des averses tombent dans presque toute la zone, surtout à son bord polaire.

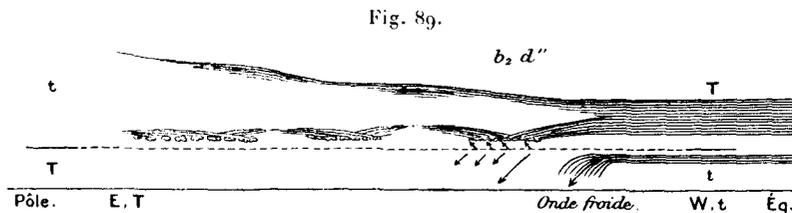


Le nuage supérieur s'étale surtout vers l'Équateur en donnant naissance à une série de jets terminés par des pommelures, qui planent encore à grande hauteur. Le bord du nuage inférieur se découpe en nuelles imbriquées qui s'évaporent peu à peu, tandis que le bord du nuage continu recule vers le pôle.

101. *Vent d'Ouest nuageux froid* (fig. 88, 89).



Un voile de hauts cirrus s'étale rapidement vers le pôle. Tout le reste des nuages recule vers l'Équateur, bordé par une bande de pluie froide.



Le bord du nuage inférieur recule vers l'Équateur en laissant tomber une onde froide accompagnée de quelques gouttes de pluie.

En haut, un voile un peu ondulé de cirrus, et une nappe de pommelures plus basses gagnent très rapidement vers le pôle.

102. Autant que j'en puis juger, les états décrits dans ce Chapitre se rencontrent aussi fréquemment, au moins, que ceux du Chapitre VIII. Il resterait à examiner le cas de deux zones contiguës à une et deux couches nuageuses, qui peuvent certainement se présenter quelquefois; mais il ne me paraît pas à propos d'entrer actuellement dans autant de détails, qui n'apprendraient rien d'essentiel, et ne révéleraient aucune situation nouvelle.

Je n'ai, dans le Chapitre actuel, fait aucune mention des situations instables qui pourraient, à la rigueur, se présenter lorsque la couche nuageuse inférieure est mince (cas d' , au lieu de d'' , nos 100, 101). C'est que ces instabilités ont déjà été indiquées au Chapitre IX, et que la présence de la couche nuageuse supérieure n'y ajoute rien d'essentiellement nouveau.

REMARQUE ESSENTIELLE. — *Dans tous ces Chapitres sur le mélange des zones nuageuses, j'ai imaginé comme point de départ des couches nuageuses étendues en voile uniforme et sans structure. Cette condition simplificatrice n'est pas toujours réalisée dans la nature; en particulier, une couche inférieure épaisse de gros cumulus est très différente d'un voile uniforme; il est facile, dans ce cas, de se représenter le degré et le genre d'irrégularité produit dans les progrès du mélange, qui conserve la trace de la structure de la couche nuageuse dont il provient.*



CHAPITRE XI.

CIRCULATION GÉNÉRALE. CONCLUSION.

Distribution des zones à la surface de la Terre.

103. Dans l'équilibre convectif pur, sans aucun mélange, aucune action tangentielle, aucun couple n'est transmis d'une masse d'air à une autre. Cette condition n'est évidemment pas remplie à la surface de la Terre; toutes les aspérités que celle-ci présente ont pour effet d'empêcher le pur mouvement horizontal à la base, de projeter vers le haut, avec perte d'une partie de leur vitesse horizontale relative, toutes les masses d'air dont le mouvement horizontal diffère de celui de la Terre et de les mêler avec les masses plus élevées; le mélange ainsi provoqué substitue à la zone en équilibre convectif un anneau de mélange graduel, dans lequel les vitesses sont intermédiaires entre celles de la zone convective et celle d'un solide à mouvement d'ensemble (1).

(1) A partir d'un rayon r_1 de calme, la vitesse linéaire en équilibre convectif est (Chap. III)

$$\frac{a r_1^2}{r}$$

et en mouvement de rotation solide

$$a r.$$

Du côté polaire, dans le domaine du vent d'Ouest v , on aura donc toujours, d'après la condition énoncée dans le texte,

$$0 < v < a \frac{r_1^2 - r^2}{r}$$

et, du côté équatorial, dans le domaine du vent d'Est ($-v$),

$$a \frac{r_1^2 - r^2}{r} < (-v) < 0.$$

D'une manière générale, le vent compté comme positif de l'Ouest vers l'Est croît avec la latitude, moins vite que dans l'équilibre convectif,

$$0 < \frac{\partial v}{\partial \lambda} < a \left(\frac{r_1^2 - r^2}{r^2} \right) \left(-\frac{\partial r}{\partial \lambda} \right)$$

ou, en traitant ce globe comme sphérique,

$$0 < \frac{\partial v}{\partial \lambda} < a \left(\frac{\cos^2 \lambda_1}{\cos^2 \lambda} - 1 \right) R \sin \lambda.$$

Nous avons déjà vu qu'au pôle l'équilibre convectif est impossible, et que l'atmosphère y est entraînée avec la rotation même de la Terre. C'est d'ailleurs dans cette région que la vitesse de la Terre varie le plus vite. On doit donc regarder la calotte polaire comme un mélange graduel dont la vitesse est comprise entre celle de la Terre et celle d'une zone de rayon de calme nul, c'est-à-dire que le vent d'Est y doit régner partout (sauf dissymétrie continentale).

De même, toute région continentale est un domaine d'équilibre de mélange graduel, sans grandes vitesses relatives, avec rayon de calme vers la latitude moyenne du continent.

Les mers intermédiaires sont seules le siège de vents réguliers forts et de véritables zones convectives intercalées; leur surface limite est stable si les rayons de calme se succèdent de l'équateur au pôle, dans le même ordre que les zones auxquelles ils appartiennent. Mais, si certains anneaux ont des rayons de calme intervertis, la surface est instable.

Situations stables.

104. Énumérons donc les situations diverses d'hiver et d'été, auxquelles peuvent donner lieu des continents et des mers alternant en latitude, mais occupant tout le tour de la Terre, ou au moins une très grande étendue en longitude. *Toutes ces situations sont stables au début, avec la zone nuageuse froide, et la zone limpide contiguë chaude, au niveau du sol.* Ces situations sont différentes suivant le caractère sec ou pluvieux de la saison précédente.

HIVER.

Dans les régions supérieures de l'atmosphère la température décroît régulièrement de l'équateur au pôle (*fig.* 46, 51, 58, 60, 61, 67, 70, 71).

Régions polaires. — Calme au pôle même, vent d'Est froid tout autour.

Latitudes moyennes. — A. — Mer chaude, très nuageuse du côté polaire d'un continent froid :

1^o Automne précédent, très pluvieux; continent nuageux (*fig.* 70).

Hiver brumeux ou couvert, large anneau de petites pluies sur le continent, bordé d'un anneau de ciel à nuages confus et toujours en mouvement avec éclaircies.

2^o Été et automne très secs; continent peu nuageux (*fig.* 76).

Zones superposées; petite pluie ou ciel bas sur la côte, cirrus ascendants en voile léger venant de la mer, ou ciel bleu sur le continent, très haute pression.

B. — Mer peu étendue, peu nuageuse (Méditerranée, côte d'Afrique) :

1^o Automne pluvieux (*fig.* 71, 67);

2° Automne sec (*fig.* 76).

C. — Continent froid du côté polaire d'une mer chaude :

1° Automne pluvieux; continent très nuageux (*fig.* 61). — Variété 68 ou 69.
— Anneau de pluies froides et de rafales en bas. Voile de cirrus ascendants, venant de la mer, au-dessus des nuages du continent.

2° Automne sec; continent peu nuageux (*fig.* 75).

Anneau de brises folles, ou de rafales, avec nuages tourmentés, très peu de pluie ou pas du tout. Voile de cirrus ascendants venant de la mer, ou ciel bleu sur le continent, très haute pression.

D. — Mer peu étendue, peu nuageuse (Méditerranée, côtes d'Europe) :

1° Automne pluvieux (*fig.* 61). (Variété 68 en bas.)

2° Automne sec (*fig.* 75).

Régions tropicales. — La mer peut être plus froide que le continent (voir *Été : Latitudes moyennes*).

ÉTÉ.

105. *Latitudes moyennes.* — Dans les régions supérieures de l'atmosphère la température décroît des tropiques au cercle polaire.

E. — Mer froide du côté polaire d'un continent chaud (*fig.* 61).

1° Hiver et printemps précédents secs; continent peu nuageux. Anneau froid à éclaircies le long de la côte.

2° Hiver et printemps pluvieux; continent très nuageux; variétés 68-69 en bas. Pluie froide par rafales le long de la côte; orages possibles (*fig.* 68).

F. — Mer froide du côté équatorial d'un continent chaud.

1° Hiver et printemps secs; continent peu nuageux (*fig.* 51, 58, 60, 67, 71).

S'il n'y a qu'un voile de cirrus élevés sur le continent, et si la mer est peu étendue et peu nuageuse (*fig.* 67) la côte est claire, et reçoit une onde très chaude.

2° Hiver et printemps humides; continent très nuageux (*fig.* 70).

Ciel bas et brume sur la mer; éclaircies et brises irrégulières le long de la côte.

Dans les *régions polaires*, la chaleur versée par le Soleil aux régions supérieures a bien un maximum au pôle; mais il y a tant à regagner de l'hiver que, selon toute vraisemblance, la température reste toujours décroissante en avançant vers le pôle. Il n'en est pas de même dans les régions tropicales.

106. *Solstice d'été. Régions tropicales.* — Pendant les deux ou trois mois de la saison la plus chaude, il y a une zone étroite comprise entre l'équateur et le tropique, pour laquelle la température des hautes régions de l'atmosphère décroît de l'équateur vers le tropique (*fig.* 48, 57, 59, 65, 68, 69, 48').

Océan (*fig. 65*). — *Variété 70 en bas*. Pluies abondantes du côté équatorial, sous les brises folles; plus espacées et orageuses en s'éloignant de l'équateur.

Variété 69. Rafales de vent, pluies par averses, non orageuses.

1° Mer froide du côté polaire d'un continent chaud.

Continent sec (*fig. 48, 59, 48'*). — Anneau de fortes brises ou de rafales rafraîchissantes; pas de pluie.

Continent nuageux (*fig. 68*). — Pluies orageuses très fraîches le long de la côte.

Continent très nuageux (*fig. 69*). — Rafales de vent. Pluies abondantes par averses, non orageuses.

2° Mer froide du côté équatorial d'un continent chaud.

Continent peu nuageux (*fig. 65*). — Pluie abondante sur la mer. Averses orageuses sur la côte.

Continent très nuageux. — *Variété 70 en bas*. — Pluie fine ou brume en mer. Brises et rafales avec peu de pluie; peu d'orages le long de la côte.

Situations instables.

107. *Régions équatoriales* (impossibilité du type I). — Aucune surface de séparation ni stable ni instable ne peut occuper toute la hauteur de l'atmosphère avec inégales nébulosités. Une circulation de moussons s'établit donc le long de la côte, uniformise la distribution des nuages sur terre et sur mer, et englobe une bande étendue du continent dans la zone marine (continent chaud), ou de l'océan dans la zone terrestre (mer chaude), et y fait régner les vents correspondants d'Est au bord équatorial de la zone, d'Ouest au bord polaire, avec une composante marine (continent chaud), ou terrestre (mer chaude).

ÉTÉ.

Régions équatoriales (impossibilité du type I). — En plein océan, dans la région où la température de la mer varie très peu en latitude, tandis que la température des hautes régions est maximum hors de l'équateur, les zones superposées (*fig. 79*) sont possibles; mais, dès que le mélange atteint le niveau supérieur des nuages, la chute du mélange froid à travers la couche inférieure provoque la formation d'un cyclone (Ch. IX).

HIVER.

Latitudes moyennes. — En plein océan, lorsque la température de la mer est très uniforme (exemple : bord sud du Gulf-Stream), tandis que la température des hautes régions décroît avec la latitude, les zones superposées (*fig. 80*)

sont possibles; mais, dès que le mélange atteint le niveau supérieur des nuages, il se forme une large tempête tournante (Ch. IX).

Pointes de terre. — Au milieu d'une vaste zone océanique, une pointe de terre qui ralentit le mouvement de l'air intervertit localement les rayons de calme dans la région basse de l'atmosphère et provoque la formation d'une surface instable sur une faible hauteur. Il y naît donc nécessairement des tempêtes et bourrasques tournantes plus ou moins violentes; mais elles sont localisées, s'éteignent après un court parcours et se renouvellent au même point, n'étant entretenues par aucune cause générale. Telles sont les redoutables tempêtes du cap Horn, du cap de Bonne-Espérance, etc.

108. *Continents limités en longitude.* — Il n'est pas nécessaire, pour la permanence des zones rigoureusement ou approximativement convectives, qu'elles occupent tout un parallèle. Elles peuvent être interrompues en longitude, et dans ce cas le centre de la zone est un maximum de pression, autour duquel la pression décroît lentement.

Jusqu'ici nous nous sommes bornés à l'étude des zones annulaires complètes, et nous avons reconnu que, même en nous imposant cette *liaison*, les zones restent limitées par des parallèles, les inégalités de nébulosité et de température provoqueront nécessairement des mélanges dont certains sont rapidement envahissants.

Les inégalités du jour à la nuit suffiraient déjà à localiser ces envahissements sur un hémisphère, et à détruire la forme annulaire. Mais la distribution des continents agit bien plus sûrement pour limiter les zones en latitude; il faut alors examiner dans quelle mesure ces limites sont fixes, flottantes, ou même fragiles, eu égard à la rotation de la Terre.

Dans une aire convective, qui repose en partie sur un continent, en partie sur un océan voisin, la nébulosité est inégale; comme conséquence de l'état convectif, les régions nébuleuses sont, à égale pression et égale vitesse du vent, plus chaudes que les régions claires; c'est ce qu'on remarque souvent en France, par les vents d'Ouest. *Des vents nuageux chauds font toujours partie de la même zone convective que l'air limpide frais du voisinage.* S'il arrive, comme cela est fréquent dans le Nord-Ouest de l'Europe, que la résistance de la Terre ralentisse les mouvements de la partie centrale de l'aire de hautes pressions, il naîtra près du sol, le long des côtes, une surface de séparation instable, au sein de la zone convective, avec production de trombes locales ou de courants dérivés.

109. Pour une distribution donnée de pression, la rotation de la Terre indique des relations entre la vitesse et la courbure de la trajectoire, dont j'ai donné

l'énoncé autrefois (¹). Les faibles inégalités de pression constatées à la surface de la Terre sont compatibles avec des courbures peu accentuées (à droite, H. N.; à gauche, H. S.) et stables malgré les variations de vitesse, mais seulement dans les hautes régions de l'atmosphère où peuvent régner de grandes vitesses avec une faible densité de l'air, ou, à un moindre degré, sur les mers grâce aux faibles résistances et aux grandes vitesses du vent. Il peut donc y avoir des zones ovales, entourées par le vent, couvrant une grande étendue océanique en bas, ou une grande étendue continentale, très haut. Mais, en général, la vitesse est trop petite et la densité trop grande au niveau du sol pour que les trajectoires stables soient aussi étendues; les zones de haute pression entourées par une trajectoire stable seraient surtout sur terre, bien plus morcelées que dans les hautes régions.

Partout où l'orographie le permet, le vent par augmentation de vitesse se courbera sur sa droite (H. N.) et la zone de hautes pressions sera traversée de nombreux lits de pression moindre, avec courants opposés contigus, sans permanence. Ce sont ces courants que M. Duclaux appelle *courants dérivés*. Au contraire, une diminution locale de vitesse, à isobares fixes, a pour premier effet de redresser la trajectoire, puis de la courber en sens inverse, en provoquant une rotation cyclonique. On voit qu'il y a concordance entre cette action toute mécanique et celle déduite de l'instabilité inévitable des portions de surfaces annulaires, là où une pointe de terre interrompt une zone océanique. Les mélanges regardés comme stables, en s'imposant la liaison des zones complètes, peuvent par ralentissement (relativement à la Terre) se subdiviser en tourbillons de rotation cyclonique quand on rétablit la liberté complète des mouvements.

110. Il y aura donc lieu de compléter les résultats du Mémoire actuel en les rapprochant de ceux de la Note de 1892, surtout en ce qui concerne la naissance et la propagation des tourbillons cycloniques.

Mais je puis, dès à présent, indiquer les résultats relatifs au bord des zones étendues stables. Lorsque les conditions de permanence et de stabilité (vitesses et pressions) sont satisfaites, les surfaces de séparation et les bandes limitrophes entre deux zones conservent les caractères étudiés dans le Mémoire actuel, quelle que soit l'orientation de leur trace sur le plan horizontal, à condition de prendre, pour termes de comparaison, les composantes de la vitesse perpendiculaires au méridien, et la projection de la ligne des pôles sur le plan vertical normal à la ligne de séparation; la vitesse verticale est toujours supposée nulle ou négligeable. Il est clair en effet que, à égalité de densité, la sur-

(¹) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1^{er} février 1892.

face contient nécessairement une parallèle à la ligne des pôles : la force centrifuge et la force centrifuge composée étant toujours perpendiculaires à l'axe de rotation, la force projetée sur cet axe se réduit à la projection de l'attraction newtonienne, indépendante du mouvement. La parallèle à l'axe conserve donc son rôle, séparant les types I et II, III, avec inversion des conditions de stabilité par inégales densités. Dans la section verticale de la surface, c'est la projection de l'axe de la Terre qui joue ce rôle. A l'équateur même ou dans son voisinage immédiat, le type I redevient possible, dès que le bord de la zone n'est plus rigoureusement perpendiculaire au méridien.

Toutes les figures du Mémoire actuel sont applicables à une orientation quelconque des lignes de séparation de deux zones, en prenant dans leur sens le plus général les indications côté polaire, côté équatorial, et vent d'Est ou Ouest; il est bien entendu que ces derniers mots ne désignent que le sens de la *différence* des deux vents, comparée à la différence convective, tous deux pouvant être des vents d'Est ou d'Ouest.

Les instabilités d'été (*fig.* 79, 80) sont étroitement limitées aux bords perpendiculaires au méridien, mobiles avec les saisons. Partout ailleurs les formes complexes attribuées aux latitudes moyennes sont possibles. Ce sont des formes stables, si les aires convectives sont distribuées à la surface du globe à peu près comme un pavé hexagonal dont une des directions de côté serait perpendiculaire au méridien, de manière à éviter toute inversion des latitudes de calme. Mais toute pointe de terre un peu proéminente, tout golfe profond, quelle qu'en soit l'orientation, sont une source certaine de troubles renouvelés.

¶ 11. Je ne me suis occupé, dans ce Mémoire, que de la partie dynamique du problème de la circulation, dans un cas particulier. Je crois pouvoir traiter prochainement avec précision du mouvement et de l'entretien des cyclones, toujours au même point de vue, c'est-à-dire en n'empruntant à la connaissance du rayonnement solaire que les indications les plus générales.

Quant aux actions qui provoquent ou règlent la formation des mélanges, les considérations que j'aurais à présenter manqueraient d'évidence pour un lecteur non encore familiarisé avec les caractères des nuages déduits de la théorie précédente. Je me bornerai à rappeler que la distribution des continents et des océans règle la position moyenne des aires distinctes d'équilibre quasi convectif, la forme des surfaces de contiguïté de ces aires, les types de nuages qui les caractérisent, les points où la stabilité complète est impossible. En ces points dangereux, les moindres variations du rayonnement solaire peuvent suffire à passer d'un état à peine stable à un état tout à fait instable; ou d'un état très stable à un envahissement rapide, caractérisé par les cirrus en jets écumeux ascendants ou descendants (Chap. VII). C'est ce point de vue qui m'a fait

attacher de l'importance à la comparaison des jets de cirrus et des taches solaires (¹), surtout lorsque j'eus constaté avec quelle simplicité s'interprètent toutes les observations anciennes, lorsqu'on n'attribue aux taches et facules que le rôle modeste qui leur convient, celui de l'amorce qui provoque l'invasion d'un courant dérivé ou la formation d'une tempête tournante en rendant instable un état très peu stable. Les contradictions, choquantes lorsqu'on songe à une influence uniforme pour la Terre entière, disparaissent alors, car elles proviennent uniquement de l'opposition de caractère du courant dérivé, et de l'aire de hautes pressions voisine, qui se substituent brusquement l'un à l'autre.

Quoi qu'il en soit, j'espère que les météorologistes cesseront de regarder l'aspect du Ciel et des nuages comme inutilisable pour la prévision du temps, faute de relations définies entre la forme des nuages et la distribution des vents. Les observations si importantes, mais trop simplifiées, de M. Clément Ley, les observations bien plus nombreuses et plus sagaces de M. Abercromby (²), ont déjà donné d'utiles indications dans ce sens. Je me suis proposé de montrer que la théorie rigoureuse et détaillée de la forme des nuages est possible, et j'ai tenté de la faire.

Je ne me flatte pas d'avoir évité, malgré mon attention, des lapsus de détail (³), mais j'espère n'avoir commis aucune erreur grossière de raisonnement, et l'observation qualitative des aspects du Ciel à laquelle je me livre depuis plusieurs années me donne quelque confiance dans l'exactitude de la théorie qui précède.

(¹) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*; nov. 1896.

Voir aussi : M. BRILLOUIN, *Origine, variations et perturbations de l'électricité atmosphérique*. Congrès de l'A. F. A. S. : 1897, et *Revue des Sciences pures et appliquées* (30 août 1897).

(²) LEY, *Cloudland: a study on the structure and characters of clouds*; 1894; résume les publications antérieures du même auteur.

ABERCROMBY, *Weather, a popular exposition of the nature of weather changes from day to day*; 1892.

(³) Je dois des remerciements particuliers à M. Raveau, mon ancien élève à l'École Normale, répétiteur à l'Institut agronomique alors que je suppléais M. Duclaux, pour le soin avec lequel il a relu toutes les épreuves, et les corrections dont il m'a signalé la nécessité.

LA NOUVELLE CARTE

DU

BULLETIN INTERNATIONAL DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE,

PAR M. ALFRED ANGOT.

Les Cartes du *Bulletin quotidien international* publié par l'Observatoire de Paris, puis par le Bureau central météorologique, ont été, jusqu'au 5 août 1878, tracées sur une projection de Mercator; leurs limites en latitude étaient environ au sud le détroit de Gibraltar et au nord l'extrémité du golfe de Bothnie. Ce mode de projection a le grand avantage de conserver rigoureusement les directions; mais le rapport de similitude de deux régions, situées à des latitudes différentes, croît rapidement avec la latitude. Les régions septentrionales offrent donc sur la Carte une surface hors de toute proportion avec celle qu'elles occupent réellement sur la sphère.

L'adjonction de nouvelles stations à la fois au nord (Norvège) et au sud (Madère, Algérie, Canal de Suez) obligea en 1878 de changer la Carte. Comme le format devait rester le même et qu'il y avait intérêt à ne pas réduire les dimensions des régions centrales, surtout de la France, on fut conduit à abandonner la projection de Mercator à cause de l'augmentation trop rapide de l'échelle des latitudes vers le nord. Depuis le 5 août 1878, ces Cartes furent tracées sur un canevas résultant du développement d'un cylindre sur lequel les parallèles sont équidistants: c'est la *projection plate équidistante*. Le rapport des longueurs des arcs de 1° des parallèles et des méridiens a, sur cette Carte, la même valeur (0,659) que sur la sphère à la latitude de Paris; à cette latitude, les figures tracées sur les Cartes sont donc semblables à celles de la sphère; les dimensions sont partout conservées en latitude; mais elles sont très augmentées en longitude dans le haut de la Carte et très diminuées dans le bas. L'altération des distances et des surfaces est différente de celle de la projection de Mercator;

mais le rapport de similitude d'une région à une autre ne peut plus être calculé aisément, comme sur cette dernière projection; de plus les angles eux-mêmes sont très altérés. Au point de vue de la représentation géographique des phénomènes ce canevas présente donc tous les inconvénients; les avantages pratiques qui l'avaient fait adopter étaient les suivants: la région centrale de la Carte (France) n'était pas sensiblement déformée; en conservant la même échelle pour cette partie centrale, on pouvait faire entrer dans le même format une étendue plus grande en latitude qu'avec la projection de Mercator; enfin les méridiens et les parallèles étaient des droites perpendiculaires, ce qui permettait de tracer rapidement, avec une exactitude suffisante, les directions de vent observées aux différentes stations.

L'altération des surfaces et des longueurs étant décidément trop grande, surtout dans les parties supérieures de la Carte, j'ai cherché un mode de représentation qui, tout en permettant un tracé rapide des Cartes quotidiennes, réunirait les avantages suivants:

- 1° Conservation de l'échelle antérieure pour la France;
- 2° Surface embrassée par la nouvelle Carte sensiblement égale à celle de l'ancienne, pour le même format;
- 3° Conservation rigoureuse de la proportionnalité des surfaces sur la Carte et sur la sphère;
- 4° Méridiens et parallèles perpendiculaires et autant que possible d'un tracé simple (lignes droites et circonférences);
- 5° Altération faible des angles et des longueurs.

La quatrième condition impose l'emploi d'une projection conique; parmi toutes les projections coniques qui satisfont à la fois aux conditions 3° et 5°, celle qui m'a donné les meilleurs résultats est la projection proposée, en 1805, par Albers (1).

Dans ce mode de projection, la portion de surface terrestre considérée est représentée sur un cône droit ayant pour axe la ligne des pôles; la distance des parallèles est déterminée par les conditions suivantes:

- 1° Les surfaces sur le cône sont égales aux surfaces correspondantes de la sphère;
- 2° Les longueurs de deux parallèles de latitudes λ_1 et λ_2 sont les mêmes sur le cône et sur la sphère.

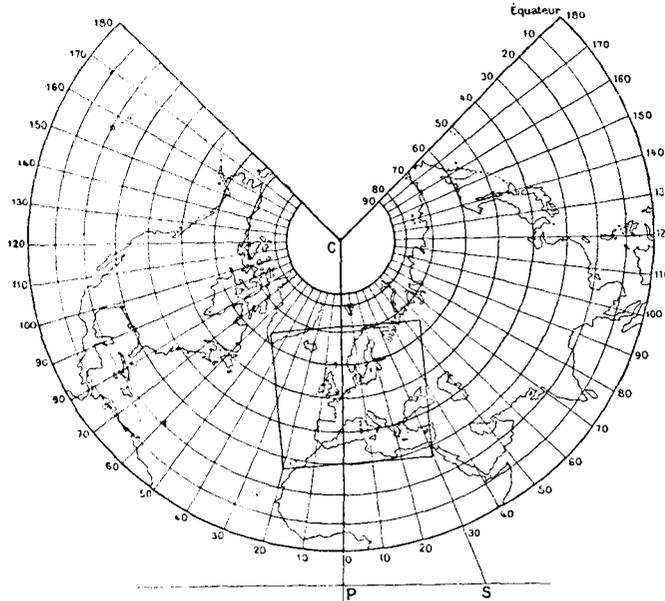
Comme on le verra plus loin, ce mode de projection présente, pour une surface limitée, comme celle de l'Europe, de très grands avantages; il est donc

(1) *Beschreibung einer neuen Kegelprojection*, von H.-C. ALBERS (*ZACH, Monat. Correspondenz*, nov. 1805, p. 450-459). — Consulter aussi, pour cette projection, GERMAIN, *Traité des projections des Cartes géographiques*. Paris, Arthus Bertrand (sans date).

intéressant de posséder tous les éléments du calcul du canevas de cette Carte. Je donnerai ici tous ces éléments en détail (1).

Soit C (fig. 1) le sommet du cône dont la surface a été développée sur un plan, et ω l'angle au sommet de ce développement. Un parallèle correspondant

Fig. 1.



à la latitude λ se trouve développé suivant un arc de cercle de rayon ρ . La surface comprise entre ce parallèle et le parallèle infiniment voisin de rayon $\rho + d\rho$ est

$$\omega \rho d\rho;$$

la portion de surface de la sphère comprise entre les parallèles de latitudes λ et $\lambda + d\lambda$ est

$$- 2 \pi R^2 \cos \lambda d\lambda.$$

La condition de conservation des surfaces sur le développement conique sera donc exprimée par l'équation

$$(1) \quad \omega \rho d\rho = - 2 \pi R^2 \cos \lambda d\lambda.$$

Pour une latitude quelconque λ , la longueur du parallèle est $\omega \rho$ sur le cône

(1) La fig. 1 représente, à une échelle très réduite ($\frac{1}{250000000}$), mais en conservant toutes les proportions, le développement de l'ensemble de l'hémisphère nord dans ce système de projection. La partie comprise dans la Carte du *Bulletin international* est indiquée par le rectangle tracé au milieu de la figure; les longitudes sont comptées à partir du méridien de Paris, mais, pour faire entrer à la fois Madère et le canal de Suez dans le format adopté, il a fallu prendre pour méridien vertical celui de 5° E, et ne pas mettre ce méridien au milieu de la Carte.

et $2\pi R \cos \lambda$ sur la sphère, R étant le rayon moyen de la Terre supposée sphérique. La condition que deux parallèles donnés soient de même longueur sur le cône et sur la sphère conduit ainsi aux deux équations

$$(2) \quad \omega \rho_1 = 2\pi R \cos \lambda_1,$$

$$(3) \quad \omega \rho_2 = 2\pi R \cos \lambda_2.$$

L'intégrale de (1) est

$$\omega \rho^2 = -4\pi R^2 \sin \lambda + \text{const.};$$

pour la latitude λ_1 , on aura

$$\omega \rho_1^2 = -4\pi R^2 \sin \lambda_1 + \text{const.},$$

d'où

$$(4) \quad \omega(\rho^2 - \rho_1^2) = 4\pi R^2(\sin \lambda_1 - \sin \lambda).$$

Des trois équations (2), (3) et (4) on déduit immédiatement

$$\frac{\omega}{2\pi} = \sin \frac{\lambda_2 + \lambda_1}{2} \cos \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2},$$

$$\rho_1 = \frac{2\pi R}{\omega} \cos \lambda_1,$$

$$\frac{\rho^2 - \rho_1^2}{R^2} = \frac{4\pi}{\omega} (\sin \lambda_1 - \sin \lambda).$$

Les limites en latitude de la surface à représenter sont 30° et 70° ; il sera donc avantageux de prendre

$$\lambda_1 = 40^\circ \quad \text{et} \quad \lambda_2 = 60^\circ;$$

dans ce cas, on aura

$$\frac{\omega}{2\pi} = 0,754407, \quad [\text{Log}] = 1,8776055,$$

$$\frac{2\pi}{\omega} = 1,32555, \quad [\text{Log}] = 0,1223945,$$

$$\rho_1 = R \times 1,015427,$$

$$(5) \quad \frac{\rho^2}{R^2} = 2,73518 - 2,65109 \sin \lambda.$$

Sur l'ellipsoïde de Clarke, qui est adopté au Service géographique de l'Armée, le quart du méridien a pour valeur 10001869^m . On en déduit, pour valeur moyenne du rayon terrestre R ,

$$R = 6367388^m, \quad [\text{Log } R] = 6,8039613.$$

Dans le Tableau suivant, on trouvera les rayons de courbure des parallèles du

canevas calculés de 5° en 5° par la formule (5) et exprimés successivement en fractions du rayon terrestre $\left(\frac{\rho}{R}\right)$, en kilomètres et enfin en millimètres, sur une Carte à l'échelle moyenne du $\frac{1}{25\ 000\ 000}$ qui est celle de la nouvelle Carte du *Bulletin*.

Rayons de courbure des parallèles de 5° en 5°.

Latitude.	$\frac{\rho}{R}$.	ρ en kilomètres.	Échelle de $\frac{1}{25\ 000\ 000}$.
25°.....	1,27074	8091,3	323,65
30.....	1,18728	7559,9	302,39
35.....	1,10208	7017,4	280,69
40.....	1,01543	6465,6	258,62
45.....	0,92767	5906,9	236,27
50.....	0,83924	5343,8	213,75
55.....	0,75069	4779,9	191,20
60.....	0,66277	4220,1	168,81
65.....	0,57663	3671,7	146,87
70.....	0,49393	3145,1	125,80
75.....	0,41764	2659,3	106,37

Le tracé des parallèles se fera donc simplement au moyen des nombres précédents, qui donnent leurs rayons de courbure; les valeurs pour les latitudes 25° et 75°, qui ne sont pas comprises dans la Carte, ont été ajoutées pour faciliter les interpolations, si l'on désire tracer les parallèles à des intervalles plus rapprochés.

Quant aux méridiens ce sont des droites concourantes qui, pour une différence réelle de longitude φ , forment entre elles, sur la projection, un angle $0,754407\varphi$. Deux méridiens distants de 5° formeront donc sur la Carte un angle de $3^{\circ}46'19'',3$.

Pour tracer les méridiens de 5° en 5° à partir du méridien central il suffira d'élever sur ce méridien une perpendiculaire à la distance $CP = r$ et de joindre le point C aux points S placés sur cette droite à des distances de P données par la relation

$$PS = \text{tango},754407\varphi.$$

Pour faciliter la construction, nous donnons ici, de 5° en 5°, les valeurs de cette expression :

5°.....	0,06594	25°.....	0,34193
10.....	0,13244	30.....	0,41692
15.....	0,20011	35.....	0,49650
20.....	0,26960	40.....	0,58146

On a donc ainsi tous les éléments nécessaires au tracé du canevas de la Carte.

Ce système de projection augmente les distances en latitude et diminue les distances en longitude dans la zone comprise entre les parallèles de 40° et de 60° ; de part et d'autre de cette zone, au contraire, la déformation est inverse. Il est intéressant de se rendre compte de la valeur absolue des altérations, aussi bien sur les distances que sur les angles.

Le Tableau suivant donne les distances mesurées sur la Carte à l'échelle du $\frac{1}{25000000}$, le long d'un méridien, entre deux points dont les latitudes sont 30° , 40° , 50° , 60° et 70° ; cette distance se trouve au point de rencontre de la colonne verticale et de la ligne horizontale qui portent en tête les latitudes considérées: on trouvera à côté les différences entre ces longueurs et celles qui séparent réellement les deux points sur l'arc de grand cercle de la sphère correspondante.

Distances en latitude.

Sur la Carte.						Différence Carte — sphère.					
	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.		30°.	40°.	50°.	60°.	70°.
	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm
30...	0	43,8	88,6	133,6	176,6	30...	0	-0,7	-0,3	-0,2	-1,2
40...	43,8	0	44,8	89,8	132,8	40...	-0,7	0	+0,3	+0,9	-0,6
50...	88,6	44,8	0	45,0	88,0	50...	-0,3	-0,3	0	-0,5	-0,9
60...	133,6	89,8	45,0	0	43,0	60...	-0,2	-0,9	+0,5	0	-1,5
70...	176,6	132,8	88,0	43,0	0	70...	-1,2	-0,6	-0,9	-1,5	0

On voit que, tant que l'on ne dépasse pas une latitude de 66° à 68° , la différence entre les distances mesurées le long d'un même méridien sur la Carte et sur la sphère n'atteint pas 1^{mm} , c'est-à-dire une quantité inférieure aux erreurs provenant de l'extension des reports et du papier pendant le tirage.

J'ai calculé ensuite, pour une série de points situés aux différentes latitudes, de 30° à 70° , les longueurs et les azimuts de la ligne qui joint ces points deux à deux pour toutes les combinaisons possibles, en supposant que la différence constante de longitude des deux points est de 20° , puis de 40° . Voici le Tableau de ces quantités et des écarts qu'elles présentent quand on les mesure sur la Carte ou sur la sphère.

I. — *Différence de longitude : 20° .*

Distances mesurées											
sur la Carte.						sur la sphère.					
	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.		30°.	40°.	50°.	60°.	70°.
	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm
30...	79,4	85,5	111,0	146,2	183,9	30...	76,9	85,0	111,2	146,1	184,8
40...	85,5	67,9	76,3	105,3	141,0	40...	85,0	68,0	76,6	104,8	141,2
50...	111,0	76,3	56,1	67,1	97,9	50...	111,2	76,6	57,0	67,2	98,3
60...	146,2	105,3	67,1	44,3	57,6	60...	146,1	104,8	67,2	44,3	57,6
70...	183,9	141,0	97,9	57,6	33,0	70...	184,8	141,2	98,3	57,6	30,3

	Azimuts mesurés										
	sur la Carte.					sur la sphère.					
	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	
30°...	82,5	52,0	30,0	17,5	10,3	30,0	85,0	53,1	31,3	18,4	10,2
40°...	113,0	82,5	46,8	24,7	13,4	40,0	115,3	83,6	47,9	25,3	12,8
50°...	134,9	118,1	82,5	40,9	19,5	50,0	135,6	116,8	82,3	41,0	18,1
60°...	147,4	140,2	124,0	82,5	34,7	60,0	146,9	139,1	122,5	81,3	31,4
70°...	154,6	151,5	145,4	130,2	82,5	70,0	153,5	150,2	144,3	130,4	80,6

	Différences Carte — sphère.										
	Distances.					Azimuts.					
	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	
	mm	mm	mm	mm	mm						
30°...	+2,5	+0,5	+0,2	+0,1	-0,9	30°...	-2,5	-1,1	-1,3	-0,9	+0,1
40°...	+0,5	-0,1	-0,3	+0,5	-0,2	40°...	-2,3	-1,1	-1,1	-0,6	+0,6
50°...	-0,2	-0,3	-0,9	-0,1	-0,4	50°...	-0,7	-1,3	+0,2	-0,1	+1,4
60°...	-0,1	+0,5	-0,1	0,0	0,0	60°...	+0,5	+1,1	+1,5	+1,2	+3,3
70°...	-0,9	-0,2	-0,4	0,0	+2,7	70°...	+1,1	+1,3	+1,1	-0,2	+1,9

II. — Différence de longitude : 40°.

	Distances mesurées										
	sur la Carte.					sur la sphère.					
	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
30°...	157,4	152,0	139,3	178,0	203,7	30°...	153,2	150,9	159,8	178,3	203,7
40°...	152,0	134,6	130,4	141,1	162,7	40°...	150,9	135,0	131,5	141,3	161,9
50°...	159,3	130,4	111,3	108,6	122,6	50°...	159,8	131,5	113,8	109,1	121,6
60°...	178,0	141,1	108,6	87,9	87,2	60°...	178,3	141,3	109,1	87,5	85,0
70°...	203,7	162,7	122,6	87,2	65,5	70°...	203,7	161,9	121,6	85,0	59,7

	Azimuts mesurés										
	sur la Carte.					sur la sphère.					
	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	
30°...	74,9	58,8	42,4	28,5	18,1	30°...	79,7	61,9	44,7	29,9	17,8
40°...	91,1	74,9	55,5	37,0	22,9	40°...	94,5	76,8	56,8	37,6	21,7
50°...	107,4	94,3	74,9	51,4	31,1	50°...	108,5	94,2	74,4	50,7	28,6
60°...	121,3	112,8	98,4	74,9	46,5	60°...	120,2	110,8	96,0	72,5	42,1
70°...	131,7	126,9	118,8	103,3	74,9	70°...	129,1	124,0	115,9	101,2	71,1

	Différences Carte — sphère.										
	Distances.					Azimuts.					
	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	
	mm	mm	mm	mm	mm						
30°...	+4,2	+1,1	-0,5	-0,3	0,0	30°...	-4,8	-3,1	-2,3	-1,4	+0,3
40°...	+1,1	-0,4	-1,1	-0,2	+0,8	40°...	-3,4	-1,9	-1,3	-0,6	+1,2
50°...	-0,5	-1,1	-2,5	-0,5	+1,0	50°...	-1,1	+0,1	+0,5	+0,7	+2,5
60°...	-0,3	-0,2	-0,5	+0,4	+2,2	60°...	+1,1	+2,0	+2,4	+2,4	+4,4
70°...	0,0	+0,8	+1,0	+2,2	+5,8	70°...	+2,6	+2,9	+2,9	+2,1	+3,8

La différence de longitude de 40° est beaucoup plus grande que toutes celles que l'on aura à considérer dans la pratique pour les mesures de distances, d'angles, de gradients, etc. Tant que l'on n'ira pas jusqu'aux limites extrêmes de la Carte, c'est-à-dire que les points considérés seront compris entre les latitudes de 32° et de 68° , et que leur différence de longitude n'atteindra pas 25° à 30° , les plus grandes erreurs ne dépasseront pas 1^{mm} sur les distances, et $1,5$ à $2''$ sur les angles; elles restent ainsi inférieures aux déformations que subit la Carte pendant le tirage et aux incertitudes de tracé des lignes isobares ou isothermes, des flèches de vents, etc. Pratiquement, on pourra donc exécuter sur cette Carte toutes les mesures nécessaires pour les études météorologiques.

D'autres canevas coniques auraient présenté des avantages à peu près équivalents, mais sans assurer la conservation des surfaces; de plus, aucun de ceux que j'ai essayés n'aurait permis de faire entrer dans le même format et à la même échelle une aussi grande étendue de pays en latitude et aussi en longitude dans le bas de la Carte.

SUR LA

FORMULE BAROMÉTRIQUE,

PAR M. ALFRED ANGOT.

Les tentatives qui ont été faites dans ces derniers temps pour lancer à de très grandes hauteurs, dans l'atmosphère, des ballons non montés, pourvus d'instruments enregistreurs, ont ramené l'attention sur la formule barométrique due à Laplace⁽¹⁾ qui donne une relation entre la pression et l'altitude. Divers auteurs ont même annoncé l'intention de profiter de ces ascensions pour *vérifier* la formule de Laplace.

S'il s'agit simplement de constater que cette formule donne pour les hauteurs calculées des valeurs qui diffèrent, parfois notablement, des hauteurs vraies, c'est là un fait connu depuis longtemps; les observations faites dans les ballons-sondes ne sont, du reste, pas assez précises pour apporter sur cette question des renseignements réellement utiles. De bonnes observations faites au $\frac{1}{10}$ de millimètre, avec un baromètre à mercure, sur des montagnes hautes de 4000^m ou 4500^m, paraissent bien préférables, à cet égard, à celles que l'on peut recueillir dans des ballons-sondes à une altitude triple, mais avec une incertitude qui atteindra toujours plusieurs millimètres sur la valeur de la pression.

Si l'intention de vérifier la formule de Laplace, par les observations des ballons-sondes, comporte en même temps celle de déterminer la cause des différences qui existent entre les hauteurs vraies et les hauteurs calculées, il est facile de s'assurer que cette intention est chimérique et que des observations isolées ne pourront jamais donner de résultats. Il faudrait pour cela disposer d'observations précises, effectuées simultanément en grand nombre dans la même verticale à des hauteurs très différentes. J'essayerai, dans ce qui suit, de

⁽¹⁾ LAPLACE, *Mécanique céleste*, II^e Partie, Livre X, Chap. IV (p. 290 du quatrième Volume des *Œuvres complètes de Laplace*. Paris, Gauthier-Villars et fils; 1890).

montrer la complexité du problème en reprenant d'une manière détaillée la discussion de la formule de Laplace (1).

La formule de Laplace se réduit, en réalité, à une équation différentielle que l'on établit de la manière suivante :

Supposons que l'on se trouve dans une couche atmosphérique en équilibre statique; les différences de pression dans la verticale proviendront uniquement du poids des couches d'air, comme dans tout fluide en équilibre sous la seule action de la pesanteur. Soit a le poids du mètre cube d'air dans la couche considérée; si l'on s'élève d'une hauteur dz , la différence de pression $-dp$ (exprimée en kilogrammes par mètre carré) sera égale au poids de la colonne d'air de hauteur dz ; on aura donc

$$dp = -a dz.$$

Désignons par

a_0 le poids du mètre cube d'air à 0° et sous la pression de $0^m, 760$ de mercure, au niveau de la mer et à la latitude 45° ;

D le poids du mètre cube de mercure à 0° , au niveau de la mer et à la latitude de 45° ;

g l'intensité de la pesanteur au lieu considéré;

G l'intensité de la pesanteur au niveau de la mer et à la latitude 45° ;

p la valeur absolue de la pression (en kilogrammes par mètre carré) au lieu considéré;

f la tension de vapeur d'eau exprimée avec la même unité que p ;

t la température de la couche d'air;

z le coefficient de dilatation de l'air.

On aura

$$a = a_0 \times \frac{g}{G} \times \frac{p - 0,377f}{D \times 0,760} \times \frac{1}{1 + zt},$$

expression dans laquelle g , p , f et t sont des fonctions de z . Pour simplifier nous poserons

$$A = \frac{D \times 0,760}{a_0}.$$

Les valeurs admises actuellement pour a_0 et D sont

$$a_0 = 1^{\text{kg}}, 293\,052, \quad D = 13\,595^{\text{kg}}, 8,$$

ce qui donne

$$A = 7991^m, 0.$$

(1) J'ai indiqué sommairement une partie des résultats qui suivent, dans le Cours que j'ai professé au Collège de France en 1895-1896; mais je n'avais pas eu jusqu'ici le loisir de les publier.

L'équation différentielle peut donc s'écrire

$$(1) \quad A \frac{dp}{p} = - \frac{g}{G} \times \left(1 - 0,377 \frac{f}{p} \right) \times \frac{1}{1 + \alpha t} dz,$$

ou, en intégrant entre les limites de hauteur z_0 et z , pour lesquelles les pressions correspondantes sont p_0 et p ,

$$(2) \quad A \text{Log} \frac{p_0}{p} = \int_{z_0}^z \frac{g}{G} \left(1 - 0,377 \frac{f}{p} \right) \frac{1}{1 + \alpha t} dz.$$

Dans cette expression, Log désigne des logarithmes népériens; si l'on emploie des logarithmes vulgaires, il faudra multiplier la constante A par 2,302 5851, inverse du module des logarithmes vulgaires; cette constante devient alors 18,400^m,0.

Dans l'intégrale du second membre figurent les quantités variables g , $\frac{f}{p}$ et t qui sont toutes fonctions de z . La formule précédente repose seulement sur l'hypothèse que l'air est en équilibre dans la couche d'air considérée. Pour vérifier en toute rigueur cette hypothèse, ou mieux, pour évaluer les différences qui sont introduites par le mouvement de l'air, il est donc indispensable de connaître les lois mathématiques qui lient les variations de g , $\frac{f}{p}$ et t avec l'altitude. Il est évident que ces lois ne sont pas connues en général, et à plus forte raison quand on ne possède que des observations plus ou moins précises dans les deux stations extrêmes. On est forcé de remplacer ces lois inconnues par de nouvelles hypothèses, et c'est justement du choix de ces hypothèses arbitraires que peut résulter la plus grande partie des discordances relevées entre les hauteurs vraies et celles que donne la formule barométrique. Je discuterai successivement quelques-unes de ces hypothèses.

Formule dite de Laplace.

La formule que l'on emploie communément sous le nom de *formule de Laplace* se déduit simplement de l'équation (2) en supposant que, dans tout l'intervalle considéré, de z_0 à z , les quantités g , $\frac{f}{p}$ et t sont constantes et ont pour valeur la moyenne des valeurs qui correspondent aux deux niveaux considérés⁽¹⁾. Si l'on désigne par Z , la différence $z - z_0$ obtenue dans cette hypothèse, par θ la moyenne arithmétique $\frac{t_0 + t}{2}$ des températures observées aux deux sta-

(1) Les hypothèses réelles de Laplace sont équivalentes à celles que nous avons indiquées, bien que très différentes en apparence. En négligeant d'abord complètement l'influence de l'humidité,

tions, par E la quantité $\frac{1}{2} \left(\frac{f_0}{p_0} + \frac{f}{p} \right)$ et par γ la quantité $\frac{g_0 + g}{2}$, on a immédiatement

$$(3) \quad Z_1 = \frac{AG(1 + \alpha f)}{\gamma(1 - 0,377 E)} \text{Log} \frac{p_0}{p}.$$

Dans les conditions les plus défavorables, celles où l'on prend en même temps, dans une station donnée, la plus grande tension de vapeur possible et la plus faible pression, le rapport $\frac{f}{p}$, sauf dans les régions tropicales, est toujours

Laplace prend l'équation fondamentale sous la forme

$$(I) \quad K \frac{dp}{p} = -g \frac{dz}{T},$$

où K est un coefficient numérique et T la température absolue (ce qu'il appelle la *chaleur* de l'air). Si g_0 est l'intensité de la pesanteur à la station inférieure, dont la distance au centre de la Terre est a , on a

$$\frac{g}{g_0} = \frac{a^2}{(a + z)^2}$$

ou sensiblement

$$(II) \quad g = g_0 \left(1 - \frac{2z}{a} \right).$$

Laplace suppose alors, pour faciliter l'intégration, que la température varie suivant l'expression

$$T = \sqrt{T_0^2 - mx};$$

T_0 est la température absolue à la station inférieure, m un coefficient numérique et x une variable auxiliaire définie par l'équation

$$(III) \quad x = z \left(1 - \frac{z}{a} \right).$$

De (III) on tire

$$dx = \left(1 - \frac{2z}{a} \right) dz$$

qui, combinée avec (II), donne

$$g dz = g_0 dx.$$

En intégrant (I) entre les limites 0 et x , on a

$$K \text{Log} \frac{p_0}{p} = \int_0^x \frac{g_0 dx}{\sqrt{T_0^2 - mx}} = \frac{2g_0}{m} (T_0 - \sqrt{T_0^2 - mx}) = \frac{2xg_0}{T_0 - T},$$

d'où

$$g_0 x = K \frac{T_0 + T}{2} \text{Log} \frac{p_0}{p};$$

mais, en vertu de (II) et de (III),

$$g_0 x = g_0 z \left(1 - \frac{z}{a} \right) = z \frac{g_0 + g}{2};$$

donc

$$z \frac{g_0 + g}{2} = K \frac{T_0 + T}{2} \text{Log} \frac{p_0}{p};$$

Le résultat final est donc bien le même que si l'on avait supposé l'intensité de la pesanteur et la température constantes et égales à la moyenne des valeurs qu'elles possèdent aux deux stations extrêmes.

inférieur à $\frac{1}{30}$ et devient beaucoup plus petit aux altitudes élevées. Le produit $0,377E$ est donc toujours inférieur à $0,01$; on pourra ainsi remplacer le facteur $\frac{1}{1-0,377E}$ par $(1+0,377E)$ sans que l'erreur commise sur Z , atteigne $0,0001$ en valeur relative, quantité évidemment négligeable.

L'accélération de la pesanteur g en un lieu donné dépend de la latitude et de l'altitude. Pour un point situé à la latitude λ et au niveau de la mer, on a sensiblement

$$g_0 = G(1 - 0,00259 \cos 2\lambda),$$

en faisant abstraction des irrégularités de la pesanteur, que l'on ne connaît pas d'une manière générale et dont il ne paraît guère possible de tenir compte.

L'influence de l'altitude est encore moins bien connue. Si l'on considère deux points sur la même verticale, l'un à la surface de la Terre où l'accélération de la pesanteur a pour valeur g_0 , l'autre à une hauteur z , on admet généralement que l'accélération de la pesanteur varie en raison inverse du carré des distances au centre de la Terre, ce qui donne, en désignant par R le rayon de la Terre,

$$\frac{g_z}{g_0} = \left(\frac{R+z}{R}\right)^2,$$

d'où, sensiblement,

$$\frac{g_z}{g_0} = \left(1 + 2\frac{z}{R}\right),$$

en négligeant les quantités de l'ordre de $\frac{z^2}{R^2}$, ce qui est évidemment légitime, car, pour $z = 20^{\text{km}}$, hauteur qui ne sera probablement jamais atteinte, le rapport $\frac{z}{R}$ est encore plus petit que $\frac{1}{300}$.

Mais il convient de remarquer que cette expression n'est pas rigoureusement exacte, car la loi du carré des distances ne serait vraie que si l'on s'éloignait dans le vide, au-dessus d'une sphère pesante. En réalité, on néglige l'attraction des couches d'air par rapport à celle de la Terre même. M. Mascart ⁽¹⁾ a montré que cette hypothèse conduit notamment à des valeurs inadmissibles pour la masse totale de l'atmosphère.

Si la station considérée, au lieu d'être dans l'air libre, est sur un plateau élevé, il faut tenir compte de l'attraction supplémentaire exercée par le terrain environnant; dans ce cas, en supposant que ce plateau élevé s'étende indéfiniment autour de la station et que la densité du terrain qui le constitue soit égale

⁽¹⁾ *Sur la masse de l'atmosphère* (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXIV, 1^{er} semestre de 1892, p. 93).

à la moitié de la densité moyenne de la Terre, on aurait, d'après Poisson,

$$\frac{g_0}{g} = 1 + \frac{5}{4} \frac{z}{R}.$$

L'influence de l'altitude sur la variation de la gravité devra donc être exprimée, en général, par une fonction telle que

$$\frac{g_0}{g} = 1 + k \frac{z}{R},$$

dans laquelle le coefficient k aura pour valeur soit environ 2, quand la station considérée est dans l'air libre (cas des ascensions en ballon); soit environ $\frac{5}{4}$, quand, au contraire, elle est sur un plateau élevé indéfini. Sur une montagne le coefficient aurait une hauteur comprise entre $\frac{5}{4}$ et 2, sans qu'il soit possible pratiquement de fixer la valeur du coefficient. La correction de gravité comporte donc une erreur qui peut s'élever presque à la moitié de la correction totale. Dans les diverses formules employées, on prend tantôt $k = 2$, tantôt $k = \frac{5}{4}$, plus souvent même ce dernier coefficient, bien qu'il nous paraisse le plus éloigné de la vérité; nous examinerons plus loin l'importance numérique de cette incertitude dans le calcul des hauteurs.

Dans le cas de la formule barométrique, nous avons dit que l'on prenait pour valeur moyenne de la correction celle qui correspond à la demi-somme des corrections relatives aux deux stations; si z_0 est la hauteur de la station inférieure et Z_1 la différence de hauteur entre les deux stations, la station supérieure sera à une hauteur absolue $Z_1 + z_0$; la demi-somme des deux hauteurs sera donc $\frac{Z_1 + 2z_0}{2}$, et, par suite, en réunissant la correction de latitude et la correction d'altitude, on aura

$$\frac{Z}{G} = \frac{1 + 0,00259 \cos 2\lambda}{1 + \frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2R}}$$

ou sensiblement

$$\frac{G}{Z} = (1 + 0,00259 \cos 2\lambda) \left[1 + \frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2R} \right].$$

Si l'on introduit toutes ces corrections, la formule de Laplace devient

$$(4) \quad Z_1 = A(1 + 0,00259 \cos 2\lambda) \left[1 + \frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2R} \right] (1 + \alpha') (1 + 0,377 E) \text{Log} \frac{p_0}{p}.$$

Dans cette formule p et p_0 représentent des pressions absolues. Si l'on opère avec des baromètres anéroïdes ou des thermomètres hypsométriques, ces pressions absolues seront proportionnelles aux pressions observées, corrigées, bien

entendu, des erreurs instrumentales; on pourra donc introduire directement dans la formule ces valeurs observées et exprimées en millimètres, comme on le fait d'ordinaire. Il en serait encore de même avec le baromètre à mercure, si l'on avait l'habitude de corriger les indications de cet instrument des variations de la gravité. Mais on se sert presque toujours, quoique à tort, des hauteurs barométriques h_0 et h , simplement réduites à zéro et corrigées des erreurs instrumentales. Dans ce cas, les hauteurs barométriques observées aux hauteurs z_0 et z sont liées aux pressions absolues par la relation

$$\frac{p_0}{p} = \frac{h_0 \left(1 + k \frac{z}{R}\right)}{h \left(1 + k \frac{z_0}{R}\right)}$$

ou, en négligeant les termes de l'ordre de $\frac{z^2}{R^2}$ et posant $z - z_0 = Z$,

$$\frac{p_0}{p} = \frac{h_0}{h} \left[1 + \frac{kZ}{R}\right].$$

Par suite

$$\text{Log} \frac{p_0}{p} = \text{Log} \frac{h_0}{h} + \text{Log} \left[1 + \frac{kZ}{R}\right].$$

En négligeant toujours les termes en $\frac{Z^2}{R^2}$, le développement de $\text{Log} \left[1 + \frac{kZ}{R}\right]$ se réduit à $\frac{kZ}{R}$, et il viendra

$$\text{Log} \frac{p_0}{p} = \text{Log} \frac{h_0}{h} + k \frac{Z}{R}.$$

Le terme $\frac{kZ}{R}$ étant très petit, on peut y remplacer Z par la valeur approchée

$$Z = A \text{Log} \frac{h_0}{h},$$

déduite de la formule (3), quand on néglige tous les termes de correction; on aura donc

$$\text{Log} \frac{p_0}{p} = \left[1 + \frac{kA}{R}\right] \text{Log} \frac{h_0}{h}$$

et, par suite, la formule (4) deviendra

$$(4 \text{ bis}) \quad Z_1 = A(1 + 0,00259 \cos 2\lambda) \left[1 + \frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2R}\right] \left(1 + \frac{kA}{R}\right) (1 + \alpha\theta) (1 + 0,377E) \text{Log} \frac{h_0}{h}.$$

La formule (4) conviendra lorsque les valeurs de la pression seront données par un baromètre anéroïde, un thermomètre hypsométrique ou même un baromètre à mercure, sous la condition que, dans ce dernier cas, les nombres soient corrigés de la variation de la gravité, ce qui devrait toujours être fait. La formule (4 bis), au contraire, sera employée quand les pressions seront fournies par des baro-

mètres à mercure dont les indications auront été seulement corrigées de la température et des erreurs instrumentales.

Les termes correctifs des formules (4) et (4 bis) se présentent sous la forme d'un produit

$$(1 + a)(1 + b)(1 + c) \dots,$$

que l'on peut remplacer totalement ou partiellement par un seul facteur $(1 + a + b + c, \dots)$, à cause de la petitesse des termes a, b, c, \dots .

Cette réunion de plusieurs termes en un seul a été faite de façons très différentes, suivant les auteurs, et souvent d'une manière critiquable; nous en citerons quelques exemples.

Laplace a proposé de remplacer les deux termes $(1 + \alpha\theta)(1 + 0,377E)$ par un terme unique $(1 + 0,004\theta)$; cela revient, évidemment, à supposer que l'on a

$$0,377E = m\theta;$$

dans ce cas, le produit devient $1 + (m + \alpha)\theta$, le nouveau coefficient de θ étant plus grand que α si θ et E sont de même signe; c'est pour cette raison que Laplace avait pris pour coefficient de θ la valeur 0,004, plus grande que le coefficient de dilatation de l'air 0,00367. Il est évident que cette substitution, que rien ne justifie en théorie, devient absolument illégitime si la température moyenne θ est inférieure à 0°, car le terme correctif qui dépend de l'humidité ne peut jamais être négatif. Ce mode de procéder est encore suivi dans les Tables publiées chaque année dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*; il doit être absolument rejeté.

Rühlmann (1) a réuni les deux termes $(1 + \alpha\theta)$ et $(1 + \frac{kA}{R})$ de la formule (4 bis) en un seul terme $[1 + \frac{kA}{R} + \alpha\theta]$. Si l'on prend

$$k = \frac{5}{4}, \quad R = 6367,388^m \quad \text{et} \quad A = 7991^m,$$

on a

$$\frac{kA}{R} = 0,00157,$$

et la double correction est réduite à $(1,00157 + \alpha\theta)$. Comme le facteur constant de la formule barométrique est égal à 18,400 quand on emploie les logarithmes ordinaires, le produit

$$18,400^m (1,00157 + \alpha\theta)$$

se réduit sensiblement à

$$18,428^m,9 (1 + \alpha\theta).$$

(1) RÜHLMANN, *Die barometrischen Höhenmessungen und ihre Bedeutung für die Physik der Atmosphäre*. Leipzig, 1870.

C'est sous cette forme que la correction dont il est question est le plus souvent introduite dans les calculs.

L'exemple de Rühlmann a été suivi par de nombreux auteurs et, malheureusement aussi, dans les *Tables météorologiques internationales*; la réunion de ces deux termes me paraît, en effet, peu heureuse. Suivant que les observations seront faites dans l'air libre ($k = 2$) ou sur de hauts plateaux ($k = \frac{5}{4}$), le terme $\frac{kA}{R}$ passera de la valeur 0,00251 à la valeur 0,00157, ce qui introduit une erreur relative de $\frac{1}{1000}$ dans les résultats. Il faudrait donc calculer ce terme correctif séparément dans tous les cas. Enfin, et surtout, le terme $\left(1 + \frac{kA}{R}\right)$ est un terme factice, si l'on peut dire, qui disparaît lorsque les observations de pression donnent la pression vraie (anéroïdes ou thermomètres hypsométriques) et n'entre dans la formule que si l'on fait usage de pressions barométriques non corrigées. Toutes les Tables construites avec la formule modifiée par Rühlmann ne peuvent donc, en toute rigueur, servir pour calculer des observations qui fournissent la pression barométrique vraie. Même dans le cas où l'on fait usage de pressions obtenues avec un baromètre à mercure et non corrigées de la gravité, le terme correctif 0,00157 ne convient que pour des stations situées sur de grands plateaux; pour les ascensions en ballon il faudrait prendre 0,00251 et, sur des montagnes isolées, un nombre intermédiaire dont il n'est pas possible de déterminer exactement la valeur. Ces deux raisons exigent que le terme $\left(1 + \frac{kA}{R}\right)$ ne soit réuni avec aucun autre; la seconde raison montre que le terme $\left[1 + \frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2R}\right]$ doit être également maintenu isolé.

Par contre, les trois termes

$$(1 + 0,00259 \cos 2\lambda) (1 + \alpha\theta) (1 + 0,377 E)$$

peuvent être très avantageusement réunis en un seul facteur.

En négligeant les produits deux à deux ou trois à trois des petites quantités, ces trois termes peuvent, en effet, être remplacés par

$$1 + \alpha \left(\theta + \frac{0,00259}{\alpha} \cos 2\lambda + \frac{0,377}{\alpha} E \right)$$

ou

$$1 + \alpha (\theta + 0,71 \cos 2\lambda + 102,72 E).$$

Comme, d'autre part, on a

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{f_0}{h_0} + \frac{f}{h} \right),$$

on voit que les corrections de température, de latitude et d'humidité peuvent

être réunies en une seule (1), en ajoutant à la température moyenne θ trois termes correctifs

$$\varepsilon = 0^{\circ},71 \cos 2\lambda, \quad \varepsilon' = 51^{\circ},36 \frac{f_0}{h_0}, \quad \varepsilon'' = 51^{\circ},36 \frac{f}{h},$$

dont les deux derniers sont toujours positifs, tandis que le premier est positif pour les latitudes comprises entre l'équateur et 45° , et négatif de 45° aux pôles. Des Tables très simples donnent la valeur de ces termes de corrections. La température corrigée de l'humidité et de la latitude, Θ , sera donc :

$$\Theta = \frac{t_0 + t}{2} + \varepsilon + \varepsilon' + \varepsilon''.$$

Cette forme a l'avantage de mettre immédiatement en évidence l'importance relative des corrections de température, d'humidité et de latitude. La quantité E est généralement plus petite que $0,01$; la correction totale d'humidité a donc à peu près, au maximum, la même importance qu'une variation de 1° dans la température; la correction de latitude due à la gravité est plus faible encore, sauf près de l'équateur ou des pôles; dans les latitudes moyennes, entre 30° et 60° , elle ne correspond qu'à une variation de température de 0° à $0^{\circ},3$.

Évaluons maintenant l'importance du terme de correction $1 + \frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2R}$ relatif à la variation de la gravité suivant l'altitude et, comme nous l'avons fait précédemment pour la latitude et l'humidité, comparons-le au terme relatif à la température; pour avoir la valeur de ce terme en degrés il suffit de calculer l'expression $\frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2\alpha R}$. On a $R = 6367388^m$ et, si nous donnons successivement à k les deux valeurs 2 et $\frac{5}{4}$, il vient

	$\frac{k}{2R}$	$\frac{18400k}{2R}$	$\frac{k}{2\alpha R}$
Pour $k = 2$	0,000000157	0,00289	0,0000428
» $k = \frac{5}{4}$	0,000000098	0,00181	0,0000268

Pour une valeur de $Z_1 + 2z_0$ (somme des altitudes des deux stations) égale à 1000^m , le terme $\frac{18400k(Z_1 + 2z_0)}{2R}$ prend respectivement, dans les deux cas, les valeurs $2^m,89$ et $1^m,81$, et le terme $\frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2\alpha R}$ les valeurs $0^{\circ},043$ et $0^{\circ},027$. Cette correction de gravité augmente les hauteurs calculées de 2^m à 3^m , et son influence est la même que celle d'une erreur de $0^{\circ},03$ à $0^{\circ},04$ sur la tempéra-

(1) W. KÖPPEL, dans *Bemerkungen über die verticale Vertheilung des Luftdruckes* (*Zeitschrift für Meteorologie*, vol. XVII, p. 85; 1882), avait déjà proposé de réunir la correction de température et celle de latitude; pour des pays comme l'Europe, où les latitudes ne diffèrent pas beaucoup de 45° , il prenait, comme température réduite, $\theta + \frac{45 - \varphi}{52}$.

ture; elle est donc presque toujours inférieure aux erreurs d'observation. C'est à peine si elle atteint la limite de ces erreurs lorsque la valeur de $Z_1 + 2z_0$ arrive à 5000^m. Ce terme pourrait donc être négligé dans tous les cas, même dans le calcul des plus grandes hauteurs obtenues dans les ascensions de ballons-sondes, où les incertitudes sur les valeurs absolues de la pression et de la température sont très grandes.

La valeur théorique $\frac{5}{4}$ adoptée, d'après Poisson, pour le coefficient k dans les mesures faites près du sol, ne paraît pas, du reste, répondre à la réalité des faits. On sait que, dans la plupart des cas, les mesures de la gravité, faites dans les massifs montagneux ou sur les hauts plateaux, donnent des nombres trop faibles; l'attraction supplémentaire du terrain environnant se trouve compensée par un déficit de la gravité provenant d'autres causes, probablement de la structure même de l'écorce terrestre. Dans l'incertitude où l'on est sur la valeur du coefficient, il vaudra mieux, pour l'établissement des Tables, prendre toujours un même nombre. Pour $k = 2$, on a $\frac{k}{2R} = 0,000\,000\,157$; c'est cette valeur que nous avons adoptée dans tout ce qui suit; mais il serait probablement préférable de prendre un nombre un peu plus petit; on pourra, par exemple, diminuer du sixième de leur valeur toutes les corrections qui dépendent de ce facteur k , comme nous l'indiquerons plus loin.

Si les pressions n'ont pas été corrigées tout d'abord de la variation de la gravité, il faudra ajouter un autre terme $1 + \frac{kA}{R}$, que l'on peut réunir au précédent; en effectuant le produit et négligeant les termes en $\frac{z^2}{R^2}$, on a alors approximativement

$$\left[1 + \frac{k(Z_1 + 2z_0)}{2R} \right] \left(1 + \frac{kA}{R} \right) = 1 + \frac{k(Z_1 + 2z_0 + 2A)}{2R},$$

soit, en prenant $\frac{k}{2R} = 0,000\,000\,157$ et $A = 7991$,

$$1 + 0,000\,000\,157 [Z_1 + 2z_0 + 15982^m].$$

En introduisant ces termes correctifs et la notion de température corrigée, pour tenir compte de l'humidité et de la latitude, la formule définitive de Laplace devient, quand on fait usage de logarithmes népériens ou de logarithmes vulgaires,

$$(5) \quad \begin{cases} Z_1 = 7991^m (1 + 0,00367\theta) [1 + 0,000\,000\,157 (Z_1 + 2z_0)] \text{Log} \frac{h_0}{h}, \\ Z_1 = 18400^m (1 + 0,00367\theta) [1 + 0,000\,000\,157 (Z_1 + 2z_0)] \log \frac{h_0}{h}, \end{cases}$$

dans le cas où les pressions h_0 et h sont corrigées de la variation de gravité.

Si, au contraire, on employait les pressions simplement réduites à 0°, il faudrait remplacer le facteur en $(Z_1 + 2z_0)$ par

$$[1 + 0,000\,000\,157(Z_1 + 2z_0 + 15982^m)].$$

Nous donnerons plus loin des Tables qui permettent de simplifier le calcul de cette formule.

Influence de la loi de variation de la température et de l'humidité.

Il nous reste maintenant à examiner ce que devient la formule barométrique quand, au lieu de considérer la température et l'humidité comme constantes, on suppose qu'elles varient avec l'altitude, suivant diverses lois.

La loi de variation de g n'est pas connue aux très grandes altitudes; mais, d'après ce que nous avons vu plus haut, l'influence de ce terme sur la mesure des hauteurs est toujours très faible. En admettant la loi de l'inverse du carré des distances, l'accélération de la pesanteur, égale à 1 au niveau de la mer, serait seulement 0,9938 à l'altitude de 20 000^m. On pourra donc, sans erreur sensible, négliger les variations de g et prendre, pour valeur constante, la moyenne arithmétique des valeurs correspondantes aux deux stations. Il serait peut-être plus rigoureux de prendre la moyenne géométrique, mais ces deux moyennes diffèrent encore de moins de $\frac{1}{100000}$ pour une différence d'altitude de 20 000^m. On supposera donc g constant et l'on prendra pour cette quantité la moyenne γ des deux valeurs qui correspondent aux stations d'altitude z et z_0 ; dans ce cas, la formule (2) devient

$$A \frac{G}{\gamma} \text{Log} \frac{p_0}{p} = \int_{z_0}^z \frac{1 - 0,377 \frac{f}{p}}{1 + \alpha t} dz,$$

dans laquelle $\frac{f}{p}$ et t sont des fonctions de z .

PREMIER CAS : *Température et humidité, fonctions linéaires de la hauteur.* — L'hypothèse la plus simple que l'on puisse faire est que t et $\frac{f}{h}$ sont des fonctions linéaires de la hauteur. Remplaçons, pour simplifier l'écriture, 0,377 par β et $\frac{f}{h}$ par u , on aura

$$1 - \beta u = m + nz,$$

$$1 + \alpha t = q + sz,$$

donc

$$\int_{z_0}^z \frac{1 - \beta u}{1 + \alpha t} dz = \frac{n}{s} \int_{z_0}^z \frac{z + \frac{m}{n}}{z + \frac{q}{s}} dz = \frac{n}{s} (z - z_0) + \frac{n}{s} \left(\frac{m}{n} - \frac{q}{s} \right) \text{Log} \frac{sz + q}{sz_0 + q}.$$

Posons

$$\begin{aligned} u_0 &= E + \varepsilon, & t_0 &= \theta + \tau, & T &= \frac{1}{\alpha} + \theta, \\ u &= E - \varepsilon, & t &= \theta - \tau, \end{aligned}$$

E et θ sont ainsi la demi-somme et ε et τ la demi-différence des valeurs de u (ou $\frac{f}{h}$) et de t , observées aux deux stations, et T est la température absolue qui correspond à la température centigrade θ . On en déduit

$$\frac{sz + q}{sz_0 + q} = \frac{T - \tau}{T + \tau}, \quad \frac{n}{s} = -\frac{\beta\varepsilon}{\alpha\tau}, \quad \frac{m - q}{n - s} = \left(\frac{z - z_0}{2}\right) \left(\frac{1 - \beta E}{\beta\varepsilon} + \frac{T}{\tau}\right)$$

et, par suite,

$$\int_{z_0}^z \frac{1 - \beta u}{1 + \alpha t} dz = -\frac{\beta\varepsilon(z - z_0)}{\alpha\tau} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{1 - \beta E}{\beta\varepsilon} + \frac{T}{\tau} \right) \text{Log} \frac{T + \tau}{T - \tau} \right].$$

Mais on a

$$\text{Log} \frac{T + \tau}{T - \tau} = 2 \left(\frac{\tau}{T} + \frac{\tau^3}{3T^3} + \frac{\tau^5}{5T^5} + \dots \right).$$

En remplaçant par cette valeur et effectuant les produits, la parenthèse devient

$$-\frac{\tau}{T} \frac{(1 - \beta E)}{\beta\varepsilon} - \left(\frac{1 - \beta E}{\beta\varepsilon} + \frac{T}{\tau} \right) \left(\frac{\tau^3}{3T^3} + \frac{\tau^5}{5T^5} + \dots \right);$$

donc

$$\int_{z_0}^z \frac{1 - \beta u}{1 + \alpha t} dz = (z - z_0) \frac{(1 - \beta E)}{\alpha T} + (z - z_0) \frac{\beta\varepsilon}{\alpha\tau} \left(\frac{1 - \beta E}{\beta\varepsilon} + \frac{T}{\tau} \right) \left(\frac{\tau^3}{3T^3} + \frac{\tau^5}{5T^5} + \dots \right).$$

Mais, d'après l'équation (2), on a

$$\int_{z_0}^z \frac{1 - \beta u}{1 + \alpha t} dz = \Lambda \frac{G}{\gamma} \text{Log} \frac{p_0}{p}.$$

Il viendra donc enfin, en remplaçant αT par $1 + \alpha\theta$,

$$(6) \quad \Lambda \frac{G}{\gamma} \frac{1 + \alpha\theta}{1 - \beta E} \text{Log} \frac{p_0}{p} = (z - z_0) \left[1 + \left(1 + \frac{T}{\tau} \frac{\beta\varepsilon}{1 - \beta E} \right) \left(\frac{\tau^2}{3T^2} + \frac{\tau^4}{5T^4} + \dots \right) \right].$$

Le premier membre est précisément la différence de hauteur Z_1 , calculée par la formule de Laplace, en supposant la température et l'humidité constantes dans toute la colonne d'air considérée; l'équation (6) permet donc de passer facilement de la hauteur Z_1 , obtenue par la formule de Laplace, à la hauteur vraie $(z - z_0)$ que l'on doit obtenir en tenant compte des hypothèses que nous avons faites sur la loi de variation de la température et de l'humidité avec la hauteur.

La formule (6) ne contient que les données immédiates des observations, mais il serait facile d'y introduire le coefficient de variation de la température

avec l'altitude. Supposons en effet que, dans l'intervalle considéré ($z - z_0$), la température varie de k° par mètre; on aura

$$2\tau = k(z - z_0) \quad \text{ou} \quad \tau = \frac{k}{2}(z - z_0);$$

on n'aura plus qu'à remplacer τ par cette valeur dans le second membre de l'équation (6).

La série qui figure dans le second membre de l'équation (6) peut se calculer simplement; on a en effet

$$\frac{\tau^2}{3T^2} + \frac{\tau^4}{5T^4} + \dots = -1 + \frac{T}{2\tau} \text{Log} \frac{T+\tau}{T-\tau} = -1 + 2,30259 \frac{T}{2\tau} \log \frac{T+\tau}{T-\tau}.$$

Si l'on néglige l'influence de la variation d'humidité, il suffira de faire $\varepsilon = 0$ dans la formule (6), dont le second membre se réduit alors à

$$(z - z_0) \times 2,30259 \frac{T}{2\tau} \log \frac{T+\tau}{T-\tau}.$$

Le facteur qui multiplie ($z - z_0$) est toujours assez voisin de l'unité. Supposons, par exemple, que les températures observées aux deux stations soient 0° et 10° , on aura alors

$$T + \tau = 283^\circ, \quad T - \tau = 273^\circ, \quad T = 278^\circ, \quad 2\tau = 10^\circ.$$

Si l'on appelle Z_1 la hauteur calculée en prenant la formule de Laplace ordinaire (température et humidité constantes) et Z_2 la hauteur calculée en supposant que la température varie suivant une fonction linéaire de l'altitude, on aura dans ce cas

$$Z_1 = Z_2 \times 1,0001.$$

Si les températures observées sont respectivement 20° et -10° , on a

$$T + \tau = 293^\circ, \quad T - \tau = 263^\circ, \quad T = 278^\circ \quad \text{et} \quad 2\tau = 30^\circ,$$

ce qui donne

$$Z_1 = Z_2 \times 1,0010.$$

Enfin, dans le cas extrême des ascensions en ballons-sondes où les températures au niveau du sol et au point le plus élevé de l'ascension seraient respectivement $+30^\circ$ et -70° , on aurait

$$T + \tau = +303^\circ, \quad T - \tau = 203^\circ, \quad T = 253^\circ, \quad 2\tau = 100^\circ,$$

d'où

$$Z_1 = Z_2 \times 1,0133.$$

On voit que la formule de Laplace, quand on y suppose la température constante dans toute la couche d'air comprise entre les deux stations, donne des

hauteurs plus grandes que la formule dérivée où l'on suppose que la température varie suivant une fonction linéaire de l'amplitude. L'erreur relative ne dépasse guère un millième dans les circonstances ordinaires; mais, dans des cas exceptionnels, comme les ascensions à grande hauteur des ballons-sondes, cette erreur relative peut atteindre et même dépasser un centième.

En général, la différence entre les hauteurs calculées par les deux formules est inférieure aux erreurs d'observation; si cependant on voulait en tenir compte, on commencerait par calculer la différence de hauteur par la formule ordinaire, en supposant la température et l'humidité constantes dans toute la couche. Puis on retrancherait, de la hauteur obtenue, une fraction de sa valeur qui est donnée dans le Tableau suivant :

Température moyenne $\left(\theta = \frac{t + t_0}{2} \right)$.

Différence des températures $t_0 - t = 2\tau$.	30°.	20°.	10°.	0°.	-10°.	-20°.	-30°.	-40°.
10.....	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002
20.....	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006
30.....	0,0008	0,0009	0,0009	0,0010	0,0011	0,0012	0,0013	0,0014
40.....	0,0015	0,0016	0,0017	0,0018	0,0019	0,0021	0,0023	0,0025
50.....	0,0023	0,0025	0,0026	0,0028	0,0030	0,0033	0,0036	0,0039
60.....	0,0033	0,0035	0,0038	0,0041	0,0044	0,0048	0,0052	0,0056
70.....	0,0045	0,0048	0,0051	0,0055	0,0060	0,0065	0,0070	0,0076
80.....	0,0058	0,0062	0,0067	0,0072	0,0078	0,0084	0,0091	0,0099
90.....	0,0074	0,0079	0,0085	0,0092	0,0099	0,0107	0,0116	0,0126
100.....	0,0091	0,0098	0,0105	0,0113	0,0122	0,0132	0,0143	0,0155

Dans le calcul de ce terme de correction, on a négligé l'influence de la variation d'humidité; il est facile de voir que l'erreur résultante est bien inférieure aux erreurs d'observation.

Supposons, en effet, les données suivantes (1) :

$$t_0 = 21^{\circ}, 04, \quad h_0 = 736^m, 96, \quad f_0 = 11^{\text{mm}}, 3, \quad \frac{f_0}{h_0} = 0,0154,$$

$$t = 6^{\circ}, 44, \quad h = 426^m, 62, \quad f = 1^{\text{mm}}, 8, \quad \frac{f}{h} = 0,0042;$$

on en déduit

$$\theta = 7^{\circ}, 30, \quad 2\tau = 13^{\circ}, 74, \quad E = 0,0098, \quad \varepsilon = 0,0056.$$

La différence de hauteur calculée par la formule ordinaire de Laplace en supposant que la température et l'humidité sont constantes dans toute la couche

(1) Observations simultanées faites au mont Blanc et à Lyon. Voir *Annales du Bureau central météorologique* pour 1892, t. I, p. B. 146.

d'air, est 4514^m. Le Tableau précédent montre que, si l'on suppose la variation de température proportionnelle à la hauteur, il faudra diminuer ce nombre de la fraction 0,0002, soit de 0^m,90. Si l'on veut tenir compte en même temps de la variation d'humidité supposée aussi proportionnelle à l'altitude, la formule (6) indique que cette correction doit être multipliée par $1 + \frac{1 + \alpha g}{1 - \beta E} \times \frac{\beta \varepsilon}{\alpha \tau}$, facteur qui, dans le cas actuel, a pour valeur numérique 1,086; la correction complète serait donc 0^m,98 au lieu de 0^m,90; la différence est bien en dessous des erreurs d'observation.

Il en serait de même pour les hauteurs les plus grandes que l'on puisse avoir à calculer. Supposons, en effet, une ascension en ballon-sonde à une hauteur telle que l'on ait les données suivantes :

$$\begin{aligned} t_0 &= 30^\circ, & h_0 &= 760^{\text{mm}}, & f_0 &= 20^{\text{mm}}, & \frac{f_0}{h_0} &= 0,0263, \\ t &= -70^\circ, & h &= 120^{\text{mm}}, & f &< 0,01^{\text{mm}}, & \frac{f}{h} &< 0,0001. \end{aligned}$$

Pour

$$g = \frac{t_0 + t}{2} = -20^\circ, \quad 2\tau = t_0 - t = 100^\circ,$$

la Table précédente donne une correction 0,0132; d'autre part, le facteur $\frac{1 + \alpha g}{1 - \beta E} \times \frac{\beta \varepsilon}{\alpha \tau}$ est égal à 0,013. La différence de hauteur Z_1 , calculée par la formule ordinaire de Laplace, devrait donc être diminuée de 0,0132 Z_1 , pour tenir compte de la variation de la température avec la hauteur et de

$$0,0132 \times 1,013 Z_1 = 0,0134 Z_1,$$

si l'on voulait tenir compte en même temps de la variation de l'humidité; il est évident qu'une mesure de hauteur faite dans ces conditions ne comporte pas une approximation de 0,0002, qui correspondrait à une incertitude de 3^m environ sur une hauteur totale de 13 000^m à 14 000^m.

De tout ce qui précède, on peut conclure que la formule ordinaire de Laplace et la formule plus compliquée où l'on tient compte de la variation de la température et de l'humidité (en admettant des variations proportionnelles à l'altitude) donnent les mêmes résultats tant que la différence de température des deux points extrêmes ne dépasse pas 25°. Pour des différences supérieures, la formule ordinaire de Laplace donne des hauteurs trop grandes; mais la Table ci-dessus permet de calculer très aisément la correction qu'il convient d'appliquer dans ce cas à la formule de Laplace; dans ce terme de correction, on ne tiendra compte que de la température; l'influence de la variation d'humidité y est négligeable, comme inférieure aux erreurs d'observation.

DEUXIÈME CAS : *Température fonction linéaire de la pression* (1). — M. Mendéléieff (2), en discutant les observations de température faites sur les montagnes et dans les ascensions aérostatiques, a émis l'opinion que ces observations étaient mieux représentées par une fonction linéaire de la pression que par une fonction linéaire de la hauteur. En admettant cette hypothèse, on posera

$$1 + \alpha t = q + sp,$$

et l'équation (1) devient

$$\Lambda \frac{G}{\gamma} \frac{q + sp}{p} dp = - \left(1 - \beta \frac{f}{p} \right) dz$$

ou en intégrant

$$(7) \quad \Lambda \frac{G}{\gamma} \left[g \operatorname{Log} \frac{p_0}{p} + s(p_0 - p) \right] = \int_{z_0}^z \left(1 - \beta \frac{f}{p} \right) dz.$$

Posons

$$\begin{aligned} t_0 &= \theta + \tau, & p_0 &= P + \pi, \\ t &= \theta - \tau, & p &= P - \pi, \end{aligned}$$

il vient

$$s = \frac{\alpha \tau}{\pi}, \quad q = (1 + \alpha \theta) - \frac{\alpha \tau P}{\pi}.$$

Le premier membre de l'équation (7) se met alors sous la forme

$$\Lambda \frac{G}{\gamma} (1 + \alpha \theta) \operatorname{Log} \frac{p_0}{p} + 2 \Lambda \frac{G}{\gamma} \alpha \tau \left(1 - \frac{P}{2\pi} \operatorname{Log} \frac{P + \pi}{P - \pi} \right),$$

ou, en développant en série $\operatorname{Log} \frac{P + \pi}{P - \pi}$,

$$\Lambda \frac{G}{\gamma} (1 + \alpha \theta) \operatorname{Log} \frac{p_0}{p} - 2 \Lambda \frac{G}{\gamma} \alpha \tau \left(\frac{\pi^2}{3P^2} + \frac{\pi^4}{5P^4} + \frac{\pi^6}{7P^6} + \dots \right).$$

Dans le second membre de l'équation (7) figure $\frac{f}{p}$ qui est une fonction de z ; l'hypothèse la plus simple que l'on puisse faire est

$$1 - \beta \frac{f}{p} = m + n z.$$

En intégrant entre les limites z_0 et z et posant, comme nous l'avons fait antérieurement,

$$\frac{f_0}{p_0} = E + \varepsilon, \quad \frac{f}{p} = E - \varepsilon,$$

(1) Ce cas a été traité par M. Sprung (*Lehrbuch der Meteorologie*, p. 97; Hambourg, 1885), mais l'auteur s'est borné à donner l'intégrale générale sans chercher, comme nous le ferons plus loin, à la rapprocher de la formule ordinaire de Laplace.

(2) *De la température des couches supérieures de l'atmosphère*. Bibliothèque universelle de Genève (*Archives des Sciences physiques et naturelles*, t. LV; mars 1876).

le second membre devient

$$\int_{z_0}^z \left(1 - \beta \frac{f}{p}\right) dz = (1 - \beta E)(z - z_0).$$

L'équation (7) se réduira donc à

$$(8) \quad z - z_0 = \Lambda \frac{G}{\gamma} \frac{(1 + \alpha f)}{1 - \beta E} \text{Log} \frac{P_0}{P} - \Lambda \alpha \frac{G}{\gamma} \frac{2\tau}{(1 - \beta E)} \left(\frac{\pi^2}{3P^2} + \frac{\pi^4}{5P^4} + \dots \right).$$

Le premier terme du second membre est précisément la différence de hauteur Z_1 calculée par la formule ordinaire de Laplace. On voit ainsi que cette formule donne encore des résultats plus élevés que ceux que l'on obtient en supposant que la température varie suivant une fonction linéaire de la pression et le rapport $\frac{f}{p}$ suivant une fonction linéaire de la hauteur.

On a

$$\Lambda = 7991^m, \quad \alpha = 0,00367, \quad \Lambda \alpha = 29^m, 327;$$

le terme correctif peut alors s'écrire indifféremment

$$29^m, 327 \frac{G}{\gamma} \frac{2\tau}{(1 - \beta E)} \left(\frac{\pi^2}{3P^2} + \frac{\pi^4}{5P^4} + \dots \right)$$

ou

$$29^m, 327 \frac{G}{\gamma} \frac{2\tau}{(1 - \beta E)} \left(-1 + \frac{P}{2\pi} \text{Log} \frac{P + \pi}{P - \pi} \right).$$

Le Tableau suivant donne les valeurs du produit de $29^m, 327$ par la parenthèse directement en fonction des pressions h_0 (ou $P + \pi$) et h (ou $P - \pi$) observées aux deux stations; il n'y aura plus qu'à multiplier le nombre trouvé dans le Tableau par la différence $t_0 - t$ (ou 2τ) des températures correspondantes, et, si l'on veut encore, par le produit $\frac{G}{\gamma(1 - \beta E)}$, mais on pourra généralement supprimer ce dernier facteur, qui est toujours voisin de l'unité, et dont l'influence est plus petite que les erreurs inévitables d'observation.

Correction pour une différence de température de 1°.

Pression h à la station supérieure.	Pression h_0 à la station inférieure							
	800 ^{mm} .	750 ^{mm} .	700 ^{mm} .	650 ^{mm} .	600 ^{mm} .	550 ^{mm} .	500 ^{mm} .	450 ^{mm} .
700 ^{mm}	0,04	0,01	0	"	"	"	"	"
650.....	0,11	0,05	0,01	0	"	"	"	"
600.....	0,20	0,12	0,06	0,02	0	"	"	"
550.....	0,34	0,23	0,14	0,07	0,02	0	"	"
500.....	0,54	0,40	0,28	0,17	0,08	0,02	0	"
450.....	0,81	0,64	0,48	0,33	0,20	0,10	0,03	0
400.....	1,17	0,96	0,76	0,57	0,40	0,25	0,12	0,03
350.....	1,65	1,41	1,17	0,93	0,71	0,50	0,31	0,15
300.....	2,31	2,02	1,73	1,45	1,17	0,89	0,62	0,40
250.....	3,23	2,89	2,55	2,20	1,85	1,50	1,17	0,84
200.....	4,55	4,15	3,74	3,32	2,89	2,46	2,02	1,59
150.....	6,55	6,07	5,58	5,08	4,55	4,01	3,46	2,89
100.....	9,88	9,31	8,72	8,10	7,46	6,78	6,07	5,33

Supposons, par exemple, que dans une ascension en ballon-sonde à grande hauteur on ait observé :

A la station inférieure..... $h_0 = 750^{\text{mm}}$ $t_0 = + 20^{\circ}$
 A la station supérieure..... $h = 150^{\text{mm}}$ $t = - 70^{\circ}$

Pour les deux pressions considérées, le Tableau ci-dessus donne une correction de 6^{mm},07 qui, multipliée par la différence de température, 90°, fait une correction réelle de 546^{mm},3, soit 546^m. La formule ordinaire de Laplace donnerait dans ce cas une hauteur plus grande de 546^m que la formule où l'on tient compte de la variation continue de la température, en supposant qu'elle est une fonction linéaire de la pression. Cette correction serait encore augmentée si on la multipliait par le facteur $\frac{G}{\gamma(1-\beta E)}$, pour tenir compte des variations de la gravité et de l'humidité.

On pourrait chercher encore ce que devient la formule si l'on suppose que le rapport u varie suivant d'autres lois. Ce problème n'a pas grand intérêt pratique, car nous avons vu que l'influence de la vapeur d'eau est petite par rapport à celle de la température et il suffira toujours numériquement de supposer que $\frac{f}{p}$ est une fonction linéaire de la hauteur. Nous passerons donc rapidement en revue deux autres hypothèses.

On peut supposer que u est, en même temps que t , fonction linéaire de la pression; dans ce cas on aura simultanément .

$$\begin{aligned} 1 - \beta u &= m + np, \\ 1 + \alpha t &= q + sp \end{aligned}$$

et l'équation différentielle fondamentale deviendra

$$-A \frac{G}{\gamma} \frac{dp}{p} = \frac{m + np}{q + sp} dz$$

ou

$$A \frac{G}{\gamma} \left[\frac{q}{p(m + np)} + \frac{s}{m + np} \right] dp = -dz,$$

qui se transforme aisément en

$$A \frac{G}{\gamma} \left[\frac{q}{mp} + \left(\frac{s}{n} - \frac{q}{m} \right) \frac{n}{(m + np)} \right] dp = -dz,$$

d'où

$$A \frac{G}{\gamma} \left[\frac{q}{m} \text{Log} \frac{p_0}{p} + \left(\frac{s}{n} - \frac{q}{m} \right) \text{Log} \frac{m + np_0}{m + np} \right] = z - z_0.$$

En posant, comme précédemment,

$$\begin{aligned} h_0 &= P + \pi, & u_0 &= E + \varepsilon, & t_0 &= \theta + \tau, & 1 + \alpha t_0 &= \alpha(T + \tau), \\ h &= P - \pi, & u &= E - \varepsilon, & t &= \theta - \tau, & 1 + \alpha t &= \alpha(T - \tau), \end{aligned}$$

on aurait

$$\begin{aligned} m + np_0 &= 1 - \beta E - \beta \varepsilon, & m + np &= 1 - \beta E + \beta \varepsilon, \\ \frac{s}{n} &= -\frac{\alpha \tau}{\beta \varepsilon}, & \frac{q}{m} &= \frac{(1 + \alpha \theta) \left(1 - \frac{\alpha \tau}{1 + \alpha \theta} \frac{P}{\pi} \right)}{(1 - \beta E) \left(1 + \frac{\beta \varepsilon}{1 - \beta E} \frac{P}{\pi} \right)} = \frac{(1 + \alpha \theta) M}{(1 - \beta E) N} \end{aligned}$$

et enfin

$$A \frac{G}{\gamma} \frac{M}{N} \frac{1 + \alpha \theta}{1 - \beta E} \text{Log} \frac{p_0}{p} + A \frac{G}{\gamma} \left(\frac{\alpha \tau}{\beta \varepsilon} + \frac{1 + \alpha \theta}{1 - \beta E} \frac{M}{N} \right) \text{Log} \frac{1 - \beta E + \beta \varepsilon}{1 - \beta E - \beta \varepsilon} = z - z_0.$$

La première partie du premier membre n'est autre que le produit de la hauteur Z_1 , calculée au moyen de la formule ordinaire de Laplace, par le facteur

$$\frac{M}{N} = \frac{1 - \frac{\alpha \tau}{1 + \alpha \theta} \frac{P}{\pi}}{1 + \frac{\beta \varepsilon}{1 - \beta E} \frac{P}{\pi}}.$$

On pourrait encore ici déduire la hauteur réelle de la hauteur calculée par la formule ordinaire, mais le calcul serait beaucoup plus long que dans le cas précédent.

La correction d'humidité prend, au contraire, une forme très simple, si l'on introduit dans la formule barométrique, en même temps que l'hypothèse de Mendéléieff sur la variation de la température, la loi de décroissance de

l'humidité avec la hauteur proposée par M. Hann (1). Cette loi est la suivante :

Si la tension de vapeur est f_0 à la station inférieure, d'altitude z_0 , et f à la station supérieure, d'altitude z , on a, en moyenne,

$$f = f_0 10^{-\frac{z-z_0}{6520}} \quad \text{ou} \quad f = f_0 e^{-\frac{z-z_0}{2830}},$$

e étant la base des logarithmes népériens.

D'autre part, la formule barométrique, quand on y néglige tous les termes correctifs, devient

$$p = p_0 e^{-\frac{z-z_0}{7991}}.$$

On aura donc

$$\frac{f}{p} = \frac{f_0}{p_0} e^{-(z-z_0)\left(\frac{1}{2830} - \frac{1}{7991}\right)} = \frac{f_0}{p_0} e^{-\frac{z-z_0}{5382}}.$$

(1) J. HANN, *Die Abnahme des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre mit zunehmender Höhe* (*Meteor. Zeitschrift*, t. IX, p. 193; 1874).

La loi de M. Hann paraît donner, pour la tension de vapeur, des valeurs trop fortes aux grandes altitudes. La tension maximum de la vapeur est en effet, pour toutes les températures inférieures à $+25^\circ$, exactement représentée par la formule

$$f = 4^{\text{mm}}, 570 \times 10^{\frac{7,532t}{250+t}},$$

qui donne, pour la valeur de la tension maximum de 5° en 5° , les valeurs suivantes :

+ 30.....	31,391	0.....	4,570	- 25.....	0,608	- 50.....	0,048
+ 20.....	17,530	- 5.....	3,159	- 30.....	0,384	- 55.....	0,026
+ 15.....	12,677	- 10.....	2,150	- 35.....	0,237	- 60.....	0,014
+ 10.....	9,145	- 15.....	1,438	- 40.....	0,142	- 65.....	0,007
+ 5.....	6,510	- 20.....	0,944	- 45.....	0,084	- 70.....	0,004

Les nombres au-dessous de -35° ne doivent être regardés que comme de simples indications, les déterminations de la tension de la vapeur n'ayant jamais été faites à ces températures.

D'autre part, le rapport $\frac{f}{f_0}$, calculé de 1000^m en 1000^m, d'après la formule de M. Hann, a les valeurs suivantes :

1000.....	0,7024	6000.....	0,1202	11000.....	0,0206
2000.....	0,4935	7000.....	0,0844	12000.....	0,0144
3000.....	0,3467	8000.....	0,0593	13000.....	0,0101
4000.....	0,2435	9000.....	0,0416	14000.....	0,0071
5000.....	0,1710	10000.....	0,0293	15000.....	0,0050

Supposons que, au niveau du sol, la température soit de $+15^\circ$, la tension de vapeur de 10^{mm}, et que la température diminue de $0^\circ,5$ par 100^m, décroissance beaucoup plus lente que celle que donnent d'ordinaire les observations; à la hauteur de 9000^m (température -30°), la tension de vapeur, calculée par la formule de M. Hann, serait de 0^{mm},416, nombre déjà supérieur à la tension maximum 0^{mm},384, qui répond à la température; à toutes les hauteurs plus grandes on aurait *a fortiori*, avec la formule de M. Hann, des tensions de vapeur supérieures aux tensions maxima. Il est évident que, si l'on avait supposé une décroissance de température plus rapide, la tension calculée aurait commencé à dépasser la tension maximum à des niveaux plus bas. Dans les mêmes conditions initiales que précédemment, mais avec une décroissance de $0^\circ,7$ pour 100^m, la température serait de -20° à l'altitude de 5000^m: d'après la formule de M. Hann, la tension de vapeur devrait être alors de 1^{mm},71, alors que la tension maximum est seulement de 0^{mm},94.

En posant, pour simplifier, $c = 4382$, le second membre de l'équation (7) devient

$$\int_{z_0}^z \left(1 - \beta \frac{f}{p}\right) dz = \int_{z_0}^z \left(1 - \beta \frac{f_0}{p_0} e^{-\frac{z-z_0}{c}}\right) dz = z - z_0 - \beta c \frac{f_0}{p_0} \left(1 - e^{-\frac{z-z_0}{c}}\right).$$

En admettant simultanément les hypothèses de Mendeleieff et de Hann pour la décroissance de la température et de l'humidité avec la hauteur, la formule barométrique définitive sera donc

$$(9) \quad z - z_0 = \Lambda \frac{G}{\gamma} (1 + \alpha \theta) \text{Log} \frac{p_0}{p} - 2 \Lambda \frac{G}{\gamma} \alpha \tau \left(\frac{\pi^2}{3P^2} + \frac{\pi^4}{5P^4} + \dots \right) + \beta c \frac{f_0}{p_0} \left(1 - e^{-\frac{z-z_0}{c}}\right).$$

Le premier terme du second membre est la hauteur calculée par la formule ordinaire de Laplace, quand on suppose la température constante et l'humidité nulle; le second terme est la correction relative à la température quand on suppose que celle-ci varie suivant la loi de Mendéléieff; le troisième terme est la correction relative à l'humidité, quand on suppose qu'elle varie suivant la loi de Hann.

Nous avons donné plus haut (p. B. 177) un Tableau qui permet d'effectuer la première correction. On trouvera la seconde dans le Tableau suivant en fonction de la hauteur approchée ($z - z_0$) donnée par la formule de Laplace et du quotient $\frac{f_0}{p_0}$ de la tension de vapeur par la pression barométrique à la station inférieure, ces deux quantités étant exprimées, comme d'ordinaire, en millimètres de mercure.

Correction d'humidité d'après la loi de Hann.

Hauteur approchée, $z - z_0$.	Valeurs du rapport $\frac{f_0}{p_0}$.							
	0,002.	0,004.	0,006.	0,008.	0,010.	0,020.	0,030.	0,040.
500.....	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	3,6	5,3	7,1
1000.....	0,7	1,3	2,0	2,7	3,4	6,7	10,1	13,5
2000.....	1,2	2,4	3,6	4,8	6,1	12,1	18,2	24,2
3000.....	1,6	3,3	4,9	6,6	8,2	16,4	24,6	32,8
4000.....	2,0	4,0	5,9	7,9	9,9	19,8	29,7	39,6
5000.....	2,2	4,5	6,7	9,0	11,2	22,5	33,7	45,0
6000.....	2,5	4,9	7,4	9,9	12,3	24,6	37,0	49,3
7000.....	2,6	5,3	7,9	10,5	13,2	26,4	39,5	52,7
8000.....	2,8	5,5	8,3	11,1	13,9	27,7	41,6	55,4
9000.....	2,9	5,8	8,6	11,5	14,4	28,8	43,2	57,6
10000.....	3,0	6,0	8,9	11,9	14,8	29,7	44,5	59,3
12000.....	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5	30,9	46,4	61,8
14000.....	3,2	6,3	9,5	12,7	15,8	31,7	47,5	63,3
16000.....	3,2	6,4	9,7	12,9	16,1	32,2	48,3	64,4

Supposons, par exemple, que, dans une ascension à grande hauteur, on ait

observé à la station inférieure une pression de 760^{mm} et une tension de vapeur de 10^{mm}; le quotient $\frac{f_0}{p_0}$ est alors $\frac{10}{760} = 0,0132$. Si l'altitude approchée de la station supérieure est de 14000^m, le Tableau précédent donne, pour 14000^m et $\frac{f_0}{p_0} = 0,01$, une correction de 15^m, 8 qui est portée à 20^m, 9 pour $\frac{f_0}{p_0} = 0,0132$. On voit que ce terme de correction est toujours très petit; dans la pratique, il suffira donc toujours de supposer que le rapport $\frac{f}{p}$ varie suivant une fonction linéaire de l'altitude ou même qu'il est constant. Dans cette dernière hypothèse, la correction d'humidité serait de 35^m, au lieu de 21^m, que donne la formule de M. Hann. Ces deux corrections sont l'une et l'autre insignifiantes par rapport à la hauteur mesurée.

Le terme de correction relatif à l'humidité donné ci-dessus se présente sous une forme commode, puisqu'il n'y entre que les observations d'humidité faites à la station inférieure et que ces observations manquent le plus souvent à la station supérieure, surtout dans les ascensions aérostatiques. Si l'on voulait cependant tenir compte des observations d'humidité faites à la station supérieure, il suffirait de considérer le coefficient c comme variable et déterminé dans chaque cas par les observations faites aux deux stations. On aurait alors, en employant les notations antérieures,

$$\frac{f_0}{p_0} = E + \varepsilon, \quad \frac{f}{p} = E - \varepsilon = \frac{f_0}{p_0} e^{-\frac{z-z_0}{c}},$$

d'où

$$\text{Log} \frac{E + \varepsilon}{E - \varepsilon} = \frac{z - z_0}{c}.$$

Le terme de correction deviendrait ainsi

$$\beta c \frac{f_0}{p_0} \left(1 - e^{-\frac{z-z_0}{c}} \right) = \beta c \left(\frac{f_0}{p_0} - \frac{f}{p} \right) = \frac{2\beta \varepsilon (z - z_0)}{\text{Log} \frac{E + \varepsilon}{E - \varepsilon}},$$

ou, en développant le logarithme en série,

$$\beta c \frac{f_0}{p_0} \left(1 - e^{-\frac{z-z_0}{c}} \right) = \frac{\beta E (z - z_0)}{1 + \frac{\varepsilon^2}{3E^2} + \frac{\varepsilon^4}{5E^2} + \dots} = \beta E (z - z_0) \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{3E^2} - \frac{4}{45} \frac{\varepsilon^4}{E^4} - \dots \right).$$

Le second membre de l'équation (8) se réduit donc à

$$(z - z_0) (1 - \beta E) + \beta E (z - z_0) \left(\frac{\varepsilon^2}{3E^2} + \frac{4}{45} \frac{\varepsilon^4}{E^4} + \dots \right);$$

le premier terme correspond à l'hypothèse où l'humidité serait constante dans toute la hauteur considérée; le second donne la correction que doit subir le

premier si l'humidité varie suivant la loi de Hann. Ce second terme est extrêmement petit, tant que ϵ n'est pas voisin de E, c'est-à-dire tant que le rapport $\frac{f}{p}$ n'est pas négligeable devant $\frac{f_0}{p_0}$; par suite, il suffira généralement, dans l'ordre d'approximation que l'on peut espérer, de considérer l'humidité comme constante et égale à la moyenne des valeurs observées aux deux stations.

On traiterait d'une manière analogue les cas répondant aux diverses hypothèses que l'on peut faire sur les lois de variation de la température et de l'humidité; toutes les fois que l'intégration pourra être effectuée, on arrivera toujours, comme nous l'avons fait dans les exemples précédents, à transformer l'équation finale, et à y mettre en évidence d'une part la formule ordinaire de Laplace et de l'autre la correction que cette formule nécessite quand on veut tenir compte de la variation des divers éléments.

Conclusions.

J'ai cherché à montrer dans ce qui précède qu'il n'y a pas à proprement parler une formule barométrique, mais une infinité de formules qui répondent chacune aux diverses hypothèses que l'on peut faire sur les lois de la variation de la température, de l'humidité et de la gravité avec la hauteur. La formule usuelle connue sous le nom de *formule de Laplace* correspond au cas le plus simple, celui où la température, le quotient de la tension de vapeur par la pression et la gravité sont supposés constants dans toute la couche d'air considérée.

Le point de départ de toutes ces formules est que l'air est en équilibre statique, c'est-à-dire que l'on néglige l'influence que peuvent avoir les mouvements de l'air sur la pression. La vérification de la formule barométrique consisterait donc à comparer la décroissance de pression observée à un moment donné avec celle que donne la formule théorique. Mais, en général, cette vérification est impossible, car elle exigerait la connaissance rigoureuse des lois de variation de la température, de l'humidité et de la gravité avec la hauteur; il faudrait donc disposer au même instant d'un nombre considérable d'observations exactes faites à toutes les hauteurs. Dans ce cas on devrait encore calculer la décroissance de pression en employant non pas la formule pratique, mais les formules spéciales qui conviennent aux lois de décroissance observées.

J'ai montré que ces formules spéciales, calculées dans quelques hypothèses simples, peuvent donner des résultats notablement différents de ceux qu'on obtient avec la formule courante. Chercher à vérifier cette dernière formule est donc une opération qui ne présente aucune signification. Tout au plus pourrait-on se proposer de vérifier les formules exactes qui répondent à chaque cas particulier, ce qui est même généralement impossible, puisque les données néces-

saires font défaut. La formule barométrique doit donc être considérée uniquement comme fournissant un moyen de calculer approximativement les hauteurs, sans qu'il paraisse possible d'évaluer l'approximation obtenue et de faire la part des causes d'erreur provenant de ce que l'air est en mouvement.

Dans la pratique, la discussion qui précède permettra, dans bien des cas, d'augmenter l'exactitude des mesures de hauteur en tenant mieux compte des conditions multiples qui se présentent à un même moment dans l'atmosphère. En général, dans une ascension à grande hauteur faite avec un ballon muni d'instruments enregistreurs, on trouvera que l'atmosphère est divisée en un certain nombre de couches dans l'intérieur desquelles les variations des différents éléments sont régulières, tandis qu'au passage d'une couche à l'autre il peut y avoir des changements rapides, parfois même une véritable discontinuité. Dans chaque couche individuellement on reconnaîtra que la température, par exemple, peut être considérée sensiblement soit comme constante, soit comme une fonction linéaire de l'altitude ou de la pression. Les indications qui précèdent permettront alors de calculer séparément la hauteur de chaque couche en employant d'abord la formule usuelle, puis en lui appliquant les corrections que j'ai indiquées pour les cas principaux. C'est seulement quand ce calcul complet sera réalisable qu'il pourra être question de comparer la hauteur totale déduite des observations barométriques avec celle qui aurait été déterminée au même moment par une triangulation; le résultat de cette comparaison donnerait alors une indication de l'influence que peuvent avoir les mouvements atmosphériques sur la décroissance verticale de la pression.

Tables pour le calcul de la formule de Laplace.

La formule définitive, adoptée pour le calcul des hauteurs au moyen des observations barométriques (p. B. 169), est la suivante :

$$Z = 18400 \left[1 + \frac{k(Z + 2z_0)}{2R} \right] (1 + \alpha\Theta) \log \frac{h_0}{h}.$$

h_0 est la hauteur du baromètre à la station inférieure dont l'altitude est z_0 , h la hauteur du baromètre à la station supérieure dont la différence de niveau avec la première est Z ; R le rayon de la Terre; k le coefficient qui entre dans la formule qui donne la décroissance de la gravité avec la hauteur; enfin Θ représente la température corrigée de la latitude et de l'humidité, comme nous l'avons indiqué. Nous allons revenir sur la signification précise et la valeur de ces différentes quantités.

Les hauteurs barométriques h_0 et h sont supposées réduites à 0° et corrigées, non seulement des erreurs instrumentales, mais encore de la variation de gra-

tivité avec la hauteur. Cette dernière correction ne concerne que les observations faites avec des baromètres à mercure. Avec des baromètres anéroïdes, il suffira de corriger les nombres lus des erreurs instrumentales et, s'il y a lieu, de la température et l'on aura ainsi directement les valeurs de h_0 et h qu'il convient d'introduire dans la formule. Si l'on opère avec des thermomètres hypsométriques, les nombres h_0 et h seront immédiatement les tensions maxima de la vapeur qui correspondent aux températures d'ébullition observées. Avec les baromètres à mercure, au contraire, il faudra faire subir tout d'abord aux pressions observées une correction d'altitude, avant de les introduire dans la formule.

Si H est la hauteur barométrique, simplement corrigée de la température et des erreurs instrumentales, que l'on observe à une altitude z , la hauteur correspondante corrigée de la variation de la gravité avec l'altitude sera

$$h = H \left(1 - k \frac{z}{R} \right) = H - \frac{kzH}{R},$$

le coefficient k ayant une valeur comprise entre 2 et $\frac{5}{4}$, selon que l'observation est prise dans l'air libre ou à la surface d'un plateau indéfini. Il faudra donc, pour faire la correction de gravité, retrancher de la hauteur donnée par le baromètre à mercure un terme qui est fonction de la hauteur barométrique et de l'altitude; mais, comme ce terme est petit, on pourra remplacer l'altitude par une valeur approchée. La formule de Laplace donne aisément ces valeurs.

Supposons que la pression au niveau de la mer soit 760^{mm}, que la température soit de 10° et diminue régulièrement, avec la hauteur, de 0°,6 par 100^m. Les altitudes correspondant aux différentes pressions sont les suivantes :

Pression.	Altitude.	Pression.	Altitude.	Pression.	Altitude.
760 ^{mm}	0 ^m	550 ^{mm}	2605 ^m	300 ^{mm}	7118 ^m
750.....	110	500.....	3346	250.....	8390
700.....	676	450.....	4150	200.....	9897
650.....	1278	400.....	5033	150.....	11763
600.....	1918	350.....	6013	100.....	14257

Comme il suffit que le terme correctif $\frac{kzH}{R}$ soit évalué au dixième de sa valeur, on pourra y remplacer z par les nombres ci-dessus; il est donc facile de construire une Table qui donne des valeurs suffisamment exactes de ce terme, en fonction seulement de la pression observée (Table I). Cette Table a été calculée avec les deux valeurs

$$k = 2 \left(\frac{k}{R} = 0,000000314 \right) \quad \text{et} \quad k = \frac{5}{4} \left(\frac{k}{R} = 0,000000196 \right);$$

la première conviendra pour les observations faites à l'air libre; la seconde pour les observations faites sur un plateau très étendu; en montagne, il sera plus rigoureux de prendre la moyenne des deux corrections correspondant à ces cas extrêmes.

L'influence de la latitude et de l'humidité peut être réunie à celle de la température; il suffit de prendre pour *température corrigée* Θ le nombre

$$\Theta = \frac{t_0 + t}{2} + 0^{\circ},71 \cos 2\lambda + 51^{\circ},36 \frac{f_0}{h_0} + 51^{\circ},36 \frac{f}{h},$$

λ étant la latitude; t_0, f_0 et h_0 la température, la tension de vapeur et la pression à la station inférieure; t, f et h les quantités correspondantes à la station supérieure. La Table II donne à vue les valeurs de $0^{\circ},71 \cos 2\lambda$ pour toutes les latitudes; la Table III donne également sans calcul, en fonction de f et de h , les valeurs de $51^{\circ},36 \frac{f}{h}$. Si les observations d'humidité manquent dans une des stations ou même dans toutes deux, au lieu de négliger cette correction, il vaudra mieux la faire en supposant que l'humidité relative a une valeur déterminée, 75 par exemple; on prendra alors pour f les trois quarts de la tension maximum de la vapeur qui correspond à la température t ; cela est évidemment arbitraire, mais il y aura toute probabilité que le terme correctif ainsi obtenu diffère de moins d'un quart de sa valeur réelle, ce qui est évidemment préférable à l'omission complète du terme de correction.

Le calcul de la hauteur Z sera alors conduit de la manière suivante :

On déterminera d'abord les données h_0, h et Θ au moyen des indications précédentes, puis on mettra la formule sous la forme

$$Z = (18400 \log h_0 - 18400 \log h) (1 + \alpha \Theta) \left[1 + \frac{k}{2R} (Z + 2,50) \right];$$

posons

$$Z_1 = 18400 \log h_0 - 18400 \log h.$$

La Table IV donne à vue, pour toutes les valeurs de h comprises entre 100^{mm} et 800^{mm}, les valeurs du produit $18400 \log h$ (1). En retranchant l'un de l'autre les deux nombres qui correspondent, dans cette Table, aux valeurs h_0 et h , on aura ainsi une première hauteur approchée Z_1 qui serait la hauteur vraie si la température Θ était égale à 0° et si l'on négligeait le dernier facteur relatif à la variation de la gravité. Une deuxième hauteur approchée Z_2 , dans laquelle on

(1) Ces valeurs ont toutes été diminuées de 2×18400 pour ne pas avoir dans tout le Tableau des nombres trop grands.

tient compte de la température, sera donnée par

$$Z_2 = Z_1(1 + \alpha\Theta) = Z_1 + \alpha Z_1\Theta;$$

il suffira donc d'ajouter à Z_1 un terme $\alpha Z_1\Theta$ dont la valeur est fournie, en fonction de Z_1 et de Θ , par la Table V. Ce terme de correction devra être ajouté à Z_1 si la température Θ est positive; il sera retranché de Z_1 , au contraire, si la température Θ est négative.

Enfin la valeur définitive

$$Z = Z_2 \left[1 + \frac{k(Z_2 + 2z_0)}{2R} \right] = Z_2 + \frac{kZ_2(Z_2 + 2z_0)}{2R}$$

s'obtiendra en ajoutant à Z_2 un terme de correction toujours positif, qui est donné directement par la Table VI, en fonction de Z_2 et de z ; dans cette dernière Table, nous avons pris $k = 2$ d'où $\frac{k}{2R} = 0,000000157$.

Si les deux observations étaient faites avec des baromètres à mercure et si l'on ne voulait pas les corriger tout d'abord de la variation de gravité, il faudrait employer en dernier lieu, au lieu du terme de correction qui vient d'être indiqué, le terme $\frac{kZ_2(Z_2 + 2z_0 + 1598z)}{2R}$.

Les valeurs de ce terme sont données dans la Table VI *bis* qui, dans ce cas, remplacera la Table VI.

Deux exemples montreront la marche et la disposition des calculs.

Premier exemple. — Différence de hauteur entre le Pic du Midi et l'observatoire de Bagnères-de-Bigorre (altitude 547^m, latitude 43°); observation faite le 11 juin 1896 à midi.

Données directes de l'observation :

	Pression.	Température.	Tension de vapeur.
Bagnères.....	719 ^{mm} ,4	17°,5	9 ^{mm} ,4
Pic du Midi.....	543 ^{mm} ,2	2°,1	3 ^{mm} ,0

Les pressions étant mesurées sur des baromètres à mercure et non corrigées de la variation de gravité, on fera d'abord cette correction. La Table I donne, pour 719^{mm},4, une correction de $-0^{\text{mm}},1$; pour la pression de 543^{mm},2 on aurait une correction de $-0^{\text{mm}},46$ dans l'air libre et de $-0^{\text{mm}},29$ sur un plateau; sur une montagne isolée, on pourra prendre comme correction $-0^{\text{mm}},4$. Les données du calcul sont donc

$$\begin{aligned} h_0 &= 719,4 - 0,1 = 719^{\text{mm}},3, & t_0 &= 17^\circ,5, & f_0 &= 9^{\text{mm}},4, \\ h &= 543,2 - 0,4 = 542^{\text{mm}},8, & t &= 2^\circ,1, & f &= 3^{\text{mm}},0. \end{aligned}$$

Les opérations seront disposées comme il suit :

1° Calcul de la température corrigée θ .

	$\frac{t_0 + t}{3}$	9,80
Table II, latitude 43°,	correction.....	+0,05
Table III. $\left\{ \begin{array}{l} f_0 = 9,4 \\ f = 3,0 \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} h_0 = 719 \\ h = 543 \end{array} \right.$	correction.....	+ 0,67
	correction.....	+ 0,29
	θ	<u>10,81</u>

2° Calcul de la hauteur.

Table IV. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Pour } 719,3 \\ \text{Pour } 542,8 \end{array} \right.$	15763,8 + 3,3.....	15767, ^m 1	
	13505,6 + 11,8.....	<u>-13517,4</u>	
	$Z_1 =$	2249,7	
Table V. Correction de température pour 10°,81 et	$\left\{ \begin{array}{l} 2000..... \\ 200..... \\ 49,7..... \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 79,3 \\ 7,9 \\ 2,0 \end{array} \right.$	
	Correction.....	<u>89,2</u>	
		$Z_1 + 89,2 = Z_2$	<u>2338,9</u>
	Table VI. Correction pour $Z_2 = 2340^m$ et $z_0 = 547^m$		<u>1,3</u>
		$Z = 2340,2$	

Le chiffre des décimètres a été conservé dans le cours du calcul pour que l'approximation finale fût suffisante, mais il n'a aucune signification dans le résultat; on ne conservera dans celui-ci que le nombre entier de mètres : la différence de hauteur des deux stations, d'après les observations considérées, serait donc de 2340^m.

Comme les observations ont été faites dans les deux stations avec des baromètres à mercure, on aurait pu ne pas les corriger tout d'abord de la gravité, mais il faudrait alors employer à la fin la Table VI *bis* au lieu de la Table VI. Le calcul serait alors le suivant :

Table IV.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pour } 719,4 \\ \text{Pour } 543,2 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 15768,2 \\ 13523,3 \end{array} \right.$
		<u>$Z_1 = 2244,9$</u>
Table V.	Pour $Z_1 = 2245^m$ et $\theta = 10°,81$	<u>89,0</u>
		<u>$Z_2 = 2333,9$</u>
Table VI <i>bis</i> .	Pour $Z_1 = 2334^m$ et $Z_0 = 514^m$	<u>7,2</u>
		$Z = 2341,1$

Le résultat du calcul dépasse celui du calcul précédent de 0^m,9. Cette différence provient de ce que la Table VI *bis* a été calculée au moyen du coefficient $k = 2$, tandis que, pour corriger le baromètre supérieur de la gravité, dans le

premier mode de calcul, on a employé le nombre $0^{mm},4$, intermédiaire entre ceux qui correspondent aux coefficients 2 et $\frac{5}{4}$. La correction répondant au coefficient 2 aurait été de $-0^{mm},46$; or, à la pression de 543^{mm} , une variation de 1^{mm} donne une variation de hauteur de $14^m,7$; la différence de $0^{mm},06$ répond donc exactement à $0^m,9$, c'est-à-dire à l'écart entre les deux modes de calculs. Les résultats auraient été identiques si l'on avait diminué du sixième de sa valeur la correction donnée par la Table VI bis.

Deuxième exemple. — Ascension du ballon-sonde l'*Aérophile III*, 13-14 novembre 1896 (1). Le 14 novembre, à 2^h54^m du matin, la pression observée (la plus basse de l'ascension) a été de 113^{mm} avec une température de -53° . A la même heure, on observait à la tour Eiffel (altitude du baromètre 313^m) une pression de $732^{mm},3$, une température de $6^\circ,0$ et une tension de vapeur de $5^{mm},4$.

Les observations de la tour Eiffel, faites avec un baromètre à mercure, doivent être seules corrigées de la gravité; la correction (Table I) est de $-0^{mm},07$ ou $-0^{mm},1$. Les données sont donc les suivantes :

$$h_0 = 732,2, \quad t_0 = 6^\circ,0, \quad f_0 = 5^{mm},4,$$

$$h = 113, \quad t = -53^\circ, \quad f < 0^{mm},04.$$

Pour le calcul de la température corrigée Θ , le terme de latitude (Table II) est de $-0^\circ,10$; la correction d'humidité pour la station inférieure (Table III) est de $+0^\circ,38$; pour la station supérieure, la tension de vapeur est inconnue; mais, à cette température, elle ne peut certainement pas dépasser $0^{mm},04$; ce qui donne une correction d'humidité inférieure à $0^\circ,02$. La température corrigée Θ sera donc

$$\Theta = \frac{6,0 - 53}{2} - 0^\circ,10 + 0,38 + 0,02 = -23^\circ,20.$$

On a alors

Table IV. {	Pour $732^{mm},2$ ($15907,0 + 2,2$).....	15909,2
	Pour 113	- 976,6
		Z ₁ = 14932,6

Table V. Correction de température pour	- $23,2^0$ et 10000^m	- 851,4
	- $23,2$ et 4000	- 340,5
	- $23,2$ et $932,6$..	- 79,6
		-1271,5

Z₁ - 1271^m,5 = Z₂..... 13661,1

Table VI. Correction pour Z ₂ = 13660 et z ₀ = 300.....	30,6
	Z = 13691,7

(1) Nous ne citons cette observation que comme exemple de calcul, les corrections instrumentales ne paraissant pas avoir été déterminées très exactement.

L'altitude de la station inférieure étant 313^m, celle du ballon-sonde aurait donc été 13692 + 313 = 14005^m, soit 14000^m, car le chiffre des mètres n'a évidemment ici aucune signification.

On voit que, dans le calcul de ce genre d'observations, on peut, sans aucune erreur appréciable, négliger l'influence de la latitude et même de l'humidité, car ces deux termes de correction ont la même influence qu'une variation de quelques dixièmes de degré dans la température; or la température fournie par l'enregistreur du ballon-sonde comporte une incertitude beaucoup plus grande.

Il pourra arriver, bien que très exceptionnellement, que, dans les ascensions des ballons-sondes, la pression supérieure tombe au-dessous de 100^{mm}. Pour que les Tables puissent servir dans tous les cas, j'ai donné en supplément (Table IV *bis*) les valeurs de 18400 log *h* (diminuées de 2 × 18400) pour toutes les pressions comprises entre 50^{mm} et 100^{mm}. Seulement, quand on fera usage de cette Table, il faudra, non plus retrancher le nombre correspondant à cette pression de celui qui correspond à la station inférieure, mais bien ajouter ces deux nombres. Ainsi, pour deux observations simultanées de pression *h*₀ = 760^{mm} et *h* = 85^{mm}, on aurait

Table IV. Pour 760.....	16207 ^m
Table IV <i>bis</i> . Pour 85.....	+ 1299
	D'où Z ₁ = 17506 ^m

Le reste du calcul sera conduit comme précédemment. Dans cette dernière Table, il a été jugé inutile de tenir compte des fractions de mètre. Pour les observations faites à cette hauteur, le chiffre des mètres et même celui des dizaines de mètres n'a plus aucune signification; la pression supérieure, en effet, ne sera jamais connue à un millimètre près; or une variation de pression de 1^{mm} correspond, à ces hauteurs, à une variation d'altitude de 90^m à 130^m.

TABLE I. — Correction de gravité.

(Pour les observations faites avec des baromètres à mercure, exclusivement.)

Pression.	Correction.		Pression.	Correction.		Pression.	Correction.	
	Air libre.	Plateaux.		Air libre.	Plateaux.		Air libre.	Plateaux.
760... <small>mm</small>	0 <small>mm</small>	0 <small>mm</small>	550... <small>mm</small>	— 0,45 <small>mm</small>	— 0,28 <small>mm</small>	300... <small>mm</small>	— 0,67 <small>mm</small>	— 0,42 <small>mm</small>
750... <small>mm</small>	— 0,03 <small>mm</small>	— 0,02 <small>mm</small>	500... <small>mm</small>	— 0,53 <small>mm</small>	— 0,33 <small>mm</small>	250... <small>mm</small>	— 0,66 <small>mm</small>	— 0,41 <small>mm</small>
700... <small>mm</small>	— 0,15 <small>mm</small>	— 0,09 <small>mm</small>	450... <small>mm</small>	— 0,59 <small>mm</small>	— 0,37 <small>mm</small>	200... <small>mm</small>	— 0,62 <small>mm</small>	— 0,39 <small>mm</small>
650... <small>mm</small>	— 0,26 <small>mm</small>	— 0,16 <small>mm</small>	400... <small>mm</small>	— 0,63 <small>mm</small>	— 0,39 <small>mm</small>	150... <small>mm</small>	— 0,55 <small>mm</small>	— 0,34 <small>mm</small>
600... <small>mm</small>	— 0,36 <small>mm</small>	— 0,23 <small>mm</small>	350... <small>mm</small>	— 0,66 <small>mm</small>	— 0,41 <small>mm</small>	100... <small>mm</small>	— 0,44 <small>mm</small>	— 0,29 <small>mm</small>

TABLE IV. — Calcul de la hauteur Z_1 .

<i>h.</i>	<i>z.</i>	$\Delta z.$												
100	0	79,5	140	2688,8	56,8	180	4697,0	44,3	220	6300,6	36,2	260	7635,5	30,7
101	79,5	78,7	141	2745,6	56,5	181	4741,3	44,0	221	6336,8	36,1	261	7666,2	30,6
102	158,2	78,0	142	2802,1	56,1	182	4785,3	43,8	222	6372,9	35,9	262	7696,8	30,4
103	236,2	77,2	143	2858,2	55,7	183	4829,1	43,6	223	6408,8	35,8	263	7727,2	30,3
104	313,4	76,5	144	2913,9	55,3	184	4872,7	43,3	224	6444,3	35,6	264	7757,5	30,2
105	389,9	75,7	145	2969,2	54,9	185	4916,0	43,0	225	6480,2	35,4	265	7787,7	30,1
106	465,6	75,1	146	3024,1	54,5	186	4959,0	42,8	226	6515,6	35,3	266	7817,8	30,0
107	540,7	74,3	147	3078,6	54,2	187	5001,8	42,6	227	6550,9	35,1	267	7847,8	29,9
108	615,0	73,6	148	3132,8	53,8	188	5044,4	42,4	228	6586,0	35,0	268	7877,7	29,8
109	688,6	73,0	149	3186,6	53,5	189	5086,8	42,2	229	6621,0	34,8	269	7907,5	29,6
110	761,6	72,3	150	3240,1	53,1	190	5129,0	42,0	230	6655,8	34,7	270	7937,1	29,5
111	833,9	71,7	151	3293,2	52,7	191	5171,0	41,7	231	6690,5	34,5	271	7966,6	29,5
112	905,6	71,0	152	3345,9	52,4	192	5212,7	41,5	232	6725,0	34,4	272	7996,1	29,3
113	976,6	70,4	153	3398,3	52,1	193	5254,2	41,3	233	6759,4	34,2	273	8025,4	29,2
114	1047,0	69,8	154	3450,4	51,7	194	5295,5	41,1	234	6793,6	34,1	274	8054,6	29,1
115	1116,8	69,2	155	3502,1	51,4	195	5336,6	40,9	235	6827,7	33,9	275	8083,7	29,0
116	1186,0	68,6	156	3553,5	51,1	196	5377,5	40,7	236	6861,6	33,8	276	8112,7	28,9
117	1254,6	68,0	157	3604,6	50,7	197	5418,2	40,5	237	6895,4	33,6	277	8141,6	28,8
118	1322,6	67,4	158	3655,3	50,4	198	5458,7	40,3	238	6929,0	33,5	278	8170,4	28,7
119	1390,0	66,9	159	3705,7	50,1	199	5499,0	40,0	239	6962,5	33,4	279	8199,1	28,6
120	1456,9	66,3	160	3755,8	49,8	200	5539,0	39,8	240	6995,9	33,2	280	8227,7	28,5
121	1523,2	65,8	161	3805,6	49,5	201	5578,8	39,6	241	7029,1	33,1	281	8256,2	28,4
122	1589,0	65,2	162	3855,1	49,2	202	5618,4	39,5	242	7062,2	33,0	282	8284,6	28,3
123	1654,2	64,7	163	3904,3	48,8	203	5657,9	39,3	243	7095,2	32,8	283	8312,9	28,1
124	1718,9	64,2	164	3953,1	48,6	204	5697,2	39,1	244	7128,0	32,7	284	8341,0	28,1
125	1783,1	63,7	165	4001,7	48,3	205	5736,3	38,9	245	7160,7	32,5	285	8369,1	28,0
126	1846,8	63,2	166	4050,0	48,0	206	5775,2	38,7	246	7193,2	32,4	286	8397,1	27,9
127	1910,0	62,7	167	4098,0	47,7	207	5813,9	38,5	247	7225,6	32,3	287	8425,0	27,8
128	1972,7	62,2	168	4145,7	47,4	208	5852,4	38,3	248	7257,9	32,2	288	8452,8	27,7
129	2034,9	61,7	169	4193,1	47,2	209	5890,7	38,1	249	7290,1	32,0	289	8480,5	27,6
130	2096,6	61,2	170	4240,3	46,8	210	5928,8	38,0	250	7322,1	31,9	290	8508,1	27,5
131	2157,8	60,8	171	4287,1	46,6	211	5966,8	37,8	251	7354,0	31,8	291	8535,6	27,4
132	2218,6	60,3	172	4333,7	46,3	212	6004,6	37,6	252	7385,8	31,6	292	8563,0	27,4
133	2278,9	59,8	173	4380,0	46,1	213	6042,2	37,4	253	7417,4	31,5	293	8590,4	27,2
134	2338,7	59,4	174	4426,1	45,8	214	6079,6	37,3	254	7448,9	31,4	294	8617,6	27,1
135	2398,1	59,0	175	4471,9	45,5	215	6116,9	37,1	255	7480,3	31,3	295	8644,7	27,0
136	2457,1	58,6	176	4517,4	45,3	216	6154,0	36,9	256	7511,6	31,2	296	8671,7	26,9
137	2515,7	58,1	177	4562,7	45,0	217	6190,9	36,7	257	7542,8	31,0	297	8698,6	26,9
138	2573,8	57,7	178	4607,7	44,8	218	6227,6	36,6	258	7573,8	30,9	298	8725,5	26,8
139	2631,5	57,3	179	4652,5	44,5	219	6264,2	36,4	259	7604,7	30,8	299	8752,3	26,7
140	2688,8		180	4697,0		220	6300,6		260	7635,5		300	8779,0	

TABLE IV (suite).

<i>h.</i>	<i>z.</i>	$\Delta z.$												
300	8779,0	26,6	340	9779,2	23,5	380	10668,0	21,0	420	11467,8	19,0	460	12194,7	17,4
301	8805,6	26,5	341	9802,7	23,4	381	10689,0	21,0	421	11486,8	19,0	461	12212,1	17,3
302	8832,1	26,4	342	9826,1	23,3	382	10710,0	20,9	422	11505,8	18,9	462	12229,4	17,3
303	8858,5	26,3	343	9849,4	23,3	383	10730,9	20,8	423	11524,7	18,8	463	12246,7	17,2
304	8884,8	26,2	344	9872,7	23,2	384	10751,7	20,8	424	11543,5	18,8	464	12263,9	17,2
305	8911,0	26,1	345	9895,9	23,1	385	10772,5	20,7	425	11562,3	18,7	465	12281,1	17,1
306	8937,2	26,0	346	9919,0	23,0	386	10793,2	20,6	426	11581,1	18,6	466	12298,3	17,1
307	8963,3	25,9	347	9942,1	22,9	387	10813,9	20,5	427	11599,9	18,5	467	12315,4	17,0
308	8989,3	25,8	348	9965,1	22,8	388	10834,5	20,5	428	11618,6	18,4	468	12332,5	17,0
309	9015,2	25,8	349	9988,0	22,8	389	10855,1	20,5	429	11637,2	18,3	469	12349,6	17,0
310	9041,0	25,7	350	10010,8	22,8	390	10875,6	20,4	430	11655,8	18,2	470	12366,6	16,9
311	9066,8	25,6	351	10033,6	22,7	391	10896,1	20,3	431	11674,4	18,1	471	12383,6	16,9
312	9092,5	25,5	352	10056,4	22,7	392	10916,5	20,3	432	11692,9	18,0	472	12400,5	16,9
313	9118,0	25,4	353	10079,1	22,6	393	10936,8	20,2	433	11711,4	17,9	473	12417,4	16,9
314	9143,5	25,3	354	10101,7	22,5	394	10957,1	20,1	434	11729,8	17,8	474	12434,3	16,9
315	9168,9	25,2	355	10124,2	22,4	395	10977,4	20,0	435	11748,2	17,7	475	12451,2	16,8
316	9194,2	25,1	356	10146,7	22,3	396	10997,6	19,9	436	11766,5	17,6	476	12468,0	16,8
317	9219,5	25,0	357	10169,1	22,2	397	10017,7	19,8	437	11784,8	17,5	477	12484,8	16,7
318	9244,7	25,0	358	10191,4	22,1	398	11037,8	19,7	438	11803,1	17,4	478	12501,5	16,7
319	9269,8	25,0	359	10213,7	22,0	399	11057,9	19,6	439	11821,3	17,3	479	12518,2	16,7
320	9294,8	24,9	360	10235,9	21,9	400	11077,9	19,5	440	11839,5	17,2	480	12534,9	16,6
321	9319,7	24,8	361	10258,1	21,8	401	11097,9	19,4	441	11857,7	17,1	481	12551,5	16,6
322	9344,5	24,7	362	10280,2	21,7	402	11117,8	19,3	442	11875,8	17,0	482	12568,1	16,5
323	9369,3	24,6	363	10302,3	21,6	403	11137,6	19,2	443	11893,8	16,9	483	12584,6	16,5
324	9394,0	24,5	364	10324,3	21,5	404	11157,4	19,1	444	11911,8	16,8	484	12601,1	16,5
325	9418,6	24,4	365	10346,2	21,4	405	11177,2	19,0	445	11929,8	16,7	485	12617,6	16,4
326	9443,2	24,3	366	10368,1	21,3	406	11196,9	18,9	446	11947,8	16,6	486	12634,1	16,4
327	9467,7	24,2	367	10389,9	21,2	407	11216,5	18,8	447	11965,7	16,5	487	12650,5	16,3
328	9492,1	24,1	368	10411,6	21,1	408	11236,1	18,7	448	11983,5	16,4	488	12666,9	16,3
329	9516,4	24,0	369	10433,3	21,0	409	11255,7	18,6	449	12001,3	16,3	489	12683,3	16,3
330	9540,6	23,9	370	10454,9	20,9	410	11275,2	18,5	450	12019,1	16,2	490	12699,6	16,2
331	9564,8	23,8	371	10476,5	20,8	411	11294,7	18,4	451	12036,8	16,1	491	12715,9	16,2
332	9588,9	23,7	372	10498,0	20,7	412	11314,1	18,3	452	12054,5	16,0	492	12732,2	16,1
333	9613,0	23,6	373	10519,4	20,6	413	11333,5	18,2	453	12072,2	15,9	493	12748,4	16,1
334	9636,9	23,5	374	10540,8	20,5	414	11352,8	18,1	454	12089,8	15,8	494	12764,6	16,0
335	9660,8	23,4	375	10562,2	20,4	415	11372,1	18,0	455	12107,4	15,7	495	12780,8	16,0
336	9684,6	23,3	376	10583,5	20,3	416	11391,3	17,9	456	12125,0	15,6	496	12796,9	15,9
337	9708,4	23,2	377	10604,7	20,2	417	11410,5	17,8	457	12142,5	15,5	497	12813,0	15,9
338	9732,1	23,1	378	10625,9	20,1	418	11429,6	17,7	458	12159,9	15,4	498	12829,0	15,8
339	9755,7	23,0	379	10647,0	20,0	419	11448,7	17,6	459	12177,3	15,3	499	12845,0	15,8
340	9779,2	23,0	380	10668,0	20,0	420	11467,8	17,5	460	12194,7	15,2	500	12861,0	15,7

TABLE IV (suite).

<i>h.</i>	<i>z.</i>	$\Delta z.$												
500	12861,0	16,0	540	13476,0	14,8	580	14047,1	13,8	620	14580,0	12,9	660	15079,6	
501	12877,0	16,0	541	13490,8	14,8	581	14060,9	13,7	621	14592,9	12,9	661	15091,7	12,1
502	12893,0	15,9	542	13505,6	14,7	582	14074,6	13,7	622	14605,8	12,8	662	15103,8	12,1
503	12908,9	15,9	543	13520,3	14,7	583	14088,3	13,7	623	14618,6	12,8	663	15115,9	12,0
504	12924,8	15,8	544	13535,0	14,7	584	14102,0	13,7	624	14631,4	12,8	664	15127,9	12,0
505	12940,6	15,8	545	13549,7	14,7	585	14115,7	13,6	625	14644,2	12,8	665	15139,9	12,0
506	12956,4	15,8	546	13564,4	14,6	586	14129,3	13,6	626	14657,0	12,8	666	15151,9	12,0
507	12972,2	15,7	547	13579,0	14,6	587	14142,9	13,6	627	14669,8	12,7	667	15163,9	12,0
508	12987,9	15,7	548	13593,6	14,6	588	14156,5	13,6	628	14682,5	12,7	668	15175,9	12,0
509	13003,6	15,7	549	13608,2	14,5	589	14170,1	13,6	629	14695,2	12,7	669	15187,9	11,9
510	13019,3	15,7	550	13622,7	14,5	590	14183,7	13,5	630	14707,9	12,7	670	15199,8	
511	13035,0	15,6	551	13637,2	14,5	591	14197,2	13,5	631	14720,6	12,6	671	15211,7	11,9
512	13050,6	15,6	552	13651,7	14,5	592	14210,7	13,5	632	14733,2	12,6	672	15223,6	11,9
513	13066,2	15,5	553	13666,2	14,4	593	14224,2	13,5	633	14745,8	12,6	673	15235,5	11,9
514	13081,7	15,5	554	13680,6	14,4	594	14237,7	13,4	634	14758,4	12,6	674	15247,4	11,8
515	13097,2	15,5	555	13695,0	14,4	595	14251,1	13,4	635	14771,0	12,6	675	15259,2	11,8
516	13112,7	15,5	556	13709,4	14,4	596	14264,5	13,4	636	14783,6	12,6	676	15271,0	11,8
517	13128,2	15,5	557	13723,8	14,3	597	14277,9	13,4	637	14796,2	12,5	677	15282,8	11,8
518	13143,7	15,4	558	13738,1	14,3	598	14291,3	13,4	638	14808,7	12,5	678	15294,6	11,8
519	13159,1	15,4	559	13752,4	14,3	599	14304,7	13,3	639	14821,2	12,5	679	15306,4	11,8
520	13174,5	15,3	560	13766,7	14,2	600	14318,0	13,3	640	14833,7	12,5	680	15318,2	11,7
521	13189,8	15,3	561	13780,9	14,2	601	14331,3	13,3	641	14846,2	12,5	681	15329,9	11,7
522	13205,1	15,3	562	13795,1	14,2	602	14344,6	13,3	642	14858,7	12,4	682	15341,6	11,7
523	13220,4	15,3	563	13809,3	14,2	603	14357,9	13,2	643	14871,1	12,4	683	15353,3	11,7
524	13235,7	15,2	564	13823,5	14,2	604	14371,1	13,2	644	14883,5	12,4	684	15365,0	11,7
525	13250,9	15,2	565	13837,7	14,1	605	14384,3	13,2	645	14895,9	12,4	685	15376,7	11,7
526	13266,1	15,2	566	13851,8	14,1	606	14397,5	13,2	646	14908,3	12,4	686	15388,4	11,6
527	13281,3	15,2	567	13865,9	14,1	607	14410,7	13,2	647	14920,7	12,3	687	15400,0	11,6
528	13296,5	15,1	568	13880,0	14,1	608	14423,9	13,1	648	14933,0	12,3	688	15411,6	11,6
529	13311,6	15,1	569	13894,1	14,0	609	14437,0	13,1	649	14945,3	12,3	689	15423,2	11,6
530	13326,7	15,1	570	13908,1	14,0	610	14450,1	13,1	650	14957,6	12,3	690	15434,8	11,6
531	13341,8	15,0	571	13922,1	14,0	611	14463,2	13,1	651	14969,9	12,3	691	15446,4	11,6
532	13356,8	15,0	572	13936,1	14,0	612	14476,3	13,0	652	14982,2	12,2	692	15458,0	11,5
533	13371,8	15,0	573	13950,1	13,9	613	14489,3	13,0	653	14994,4	12,2	693	15469,5	11,5
534	13386,8	14,9	574	13964,0	13,9	614	14502,3	13,0	654	15006,6	12,2	694	15481,0	11,5
535	13401,7	14,9	575	13977,9	13,9	615	14515,3	13,0	655	15018,8	12,2	695	15492,5	11,5
536	13416,6	14,9	576	13991,8	13,9	616	14528,3	13,0	656	15031,0	12,2	696	15504,0	11,5
537	13431,5	14,9	577	14005,7	13,8	617	14541,3	12,9	657	15043,2	12,2	697	15515,5	11,4
538	13446,4	14,8	578	14019,5	13,8	618	14554,2	12,9	658	15055,4	12,1	698	15526,9	11,5
539	13461,2	14,8	579	14033,3	13,8	619	14567,1	12,9	659	15067,5	12,1	699	15538,4	11,4
540	13476,0		580	14047,1		620	14580,0		660	15079,6		700	15549,8	

TABLE IV (suite).

<i>h.</i>	<i>z.</i>	$\Delta z.$												
700	15549,8	11,4	720	15774,9	11,1	740	15993,9	10,8	760	16207,0	10,5	780	16414,5	10,3
701	15561,2	11,4	721	15786,0	11,1	741	16004,7	10,7	761	16217,5	10,5	781	16424,8	10,2
702	15572,6	11,4	722	15797,1	11,0	742	16015,4	10,8	762	16228,0	10,5	782	16435,0	10,2
703	15584,0	11,4	723	15808,1	11,1	743	16026,2	10,7	763	16238,5	10,4	783	16445,2	10,2
704	15595,4	11,3	724	15819,2	11,0	744	16036,9	10,8	764	16248,9	10,5	784	16455,4	10,2
705	15606,7	11,3	725	15830,2	11,0	745	16047,7	10,7	765	16259,4	10,4	785	16465,6	10,2
706	15618,0	11,3	726	15841,2	11,0	746	16058,4	10,7	766	16269,8	10,4	786	16475,8	10,1
707	15629,3	11,3	727	15852,2	11,0	747	16069,1	10,7	767	16280,2	10,4	787	16485,9	10,2
708	15640,6	11,3	728	15863,2	11,0	748	16079,8	10,7	768	16290,6	10,4	788	16496,1	10,1
709	15651,9	11,2	729	15874,2	10,9	749	16090,5	10,6	769	16301,0	10,4	789	16506,2	10,1
710	15663,1	11,3	730	15885,1	11,0	750	16101,1	10,7	770	16311,4	10,4	790	16516,3	10,1
711	15674,4	11,3	731	15896,1	10,9	751	16111,8	10,6	771	16321,8	10,4	791	16526,4	10,1
712	15685,7	11,2	732	15907,0	10,9	752	16122,4	10,6	772	16332,2	10,3	792	16536,5	10,1
713	15696,9	11,1	733	15917,9	10,9	753	16133,0	10,6	773	16342,5	10,3	793	16546,6	10,1
714	15708,0	11,2	734	15928,8	10,9	754	16143,6	10,6	774	16352,8	10,4	794	16556,7	10,1
715	15719,2	11,2	735	15939,7	10,9	755	16154,2	10,6	775	16363,2	10,3	795	16566,8	10,0
716	15730,4	11,1	736	15950,6	10,8	756	16164,8	10,6	776	16373,5	10,2	796	16576,8	10,0
717	15741,5	11,2	737	15961,4	10,8	757	16175,4	10,5	777	16383,7	10,3	797	16586,8	10,1
718	15752,7	11,1	738	15972,2	10,9	758	16185,9	10,5	778	16394,0	10,3	798	16596,9	10,0
719	15763,8	11,1	739	15983,1	10,8	759	16196,4	10,6	779	16404,3	10,2	799	16606,9	10,0
720	15774,9		740	15993,9		760	16207,0		780	16414,5		800	16616,9	

TABLE IV (bis). — Calcul de la hauteur Z_1 dans les ascensions à très grandes hauteurs.

Les nombres de ce Tableau doivent être ajoutés à ceux que fournit la Table précédente pour la station inférieure (voir p. B. 189).

<i>h.</i>	<i>z.</i>								
99	80	89	931	79	1884	69	2965	59	4216
98	161	88	1022	78	1986	68	3082	58	4353
97	243	87	1113	77	2089	67	3200	57	4492
96	326	86	1205	76	2193	66	3320	56	4633
95	410	85	1299	75	2299	65	3442	55	4777
94	494	84	1393	74	2406	64	3566	54	4924
93	580	83	1489	73	2515	63	3692	53	5073
92	666	82	1586	72	2625	62	3820	52	5226
91	754	81	1684	71	2737	61	3950	51	5381
90	842	80	1783	70	2850	60	4082	50	5539

TABLE V. — Correction de température.

Altitude Z ₁ .	Température θ.											
	1°.	2°.	3°.	4°.	5°.	6°.	7°.	8°.	9°.	10°.	20°.	30°.
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
10..	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,7	1,1
20..	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	1,5	2,2
30..	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	2,2	3,3
40..	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	2,9	4,4
50..	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	3,7	5,5
60..	0,2	0,4	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	4,4	6,6
70..	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	5,1	7,7
80..	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	5,9	8,8
90..	0,3	0,6	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,6	3,0	3,3	6,6	9,9
100..	0,4	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2	2,6	2,9	3,3	3,7	7,3	11,0
200..	0,7	1,5	2,2	2,9	3,7	4,4	5,1	5,9	6,6	7,3	14,7	22,0
300..	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	7,7	8,8	9,9	11,0	22,0	33,0
400..	1,5	2,9	4,4	5,9	7,3	8,8	10,3	11,7	13,2	14,7	29,4	44,0
500..	1,8	3,7	5,5	7,3	9,2	11,0	12,9	14,7	16,5	18,4	36,7	55,1
600..	2,2	4,4	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6	19,8	22,0	44,0	66,1
700..	2,6	5,1	7,7	10,3	12,9	15,4	18,0	20,6	23,1	25,7	51,4	77,1
800..	2,9	5,9	8,8	11,7	14,7	17,6	20,6	23,5	26,4	29,4	58,7	88,1
900..	3,3	6,6	9,9	13,2	16,5	19,8	23,1	26,4	29,7	33,0	66,1	99,1
1000..	3,7	7,3	11,0	14,7	18,4	22,0	25,7	29,4	33,0	36,7	73,4	110,1
2000..	7,3	14,7	22,0	29,4	36,7	44,0	51,4	58,7	66,1	73,4	146,8	220,2
3000..	11,0	22,0	33,0	44,0	55,1	66,1	77,1	88,1	99,1	110,1	220,2	330,3
4000..	14,7	29,4	44,0	58,7	73,4	88,1	102,8	117,4	132,1	146,8	293,6	440,4
5000..	18,4	36,7	55,1	73,4	91,8	110,1	128,5	146,8	165,2	183,5	367,0	550,5
6000..	22,0	44,0	66,1	88,1	110,1	132,1	154,1	176,2	198,2	220,2	440,4	660,6
7000..	25,7	51,4	77,1	102,8	128,5	154,1	179,8	205,5	231,2	256,9	513,8	770,7
8000..	29,4	58,7	88,1	117,4	146,8	176,2	205,5	234,9	264,2	293,6	587,2	880,8
9000..	33,0	66,1	99,1	132,1	165,2	198,2	231,2	264,2	297,3	330,3	660,6	990,9
10000..	36,7	73,4	110,1	146,8	183,5	220,2	256,9	293,6	330,3	367,0	734,0	1101,0

TABLE VI. — Correction d'altitude.

Station inférieure. z ₀ .	Altitude de la station supérieure Z ₂ .													
	1000 ^m .	2000 ^m .	3000 ^m .	4000 ^m .	5000 ^m .	6000 ^m .	7000 ^m .	8000 ^m .	9000 ^m .	10000 ^m .	11000 ^m .	12000 ^m .	13000 ^m .	14000 ^m .
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
0.....	0,2	0,6	1,4	2,5	3,9	5,7	7,7	10,0	12,7	15,7	19,0	22,6	26,5	30,8
100.....	0,2	0,7	1,5	2,6	4,1	5,8	7,9	10,3	13,0	16,0	19,3	23,0	26,9	31,2
200.....	0,2	0,8	1,6	2,8	4,2	6,0	8,1	10,6	13,3	16,3	19,7	23,4	27,3	31,7
300.....	0,3	0,8	1,7	2,9	4,4	6,2	8,4	10,8	13,6	16,6	20,0	23,7	27,8	32,1
400.....	0,3	0,9	1,8	3,0	4,6	6,4	8,6	11,1	13,8	17,0	20,4	24,1	28,2	32,5
500.....	0,3	0,9	1,9	3,1	4,7	6,6	8,8	11,3	14,1	17,3	20,7	24,5	28,6	33,0
600.....	0,3	1,0	2,0	3,3	4,9	6,8	9,0	11,5	14,4	17,6	21,1	24,9	29,0	33,4
700.....	0,4	1,1	2,1	3,4	5,0	7,0	9,2	11,8	14,7	18,0	21,4	25,2	29,4	33,8
800.....	0,4	1,1	2,2	3,5	5,2	7,2	9,5	12,1	15,0	18,2	21,8	25,6	29,8	34,3
900.....	0,4	1,2	2,3	3,6	5,3	7,3	9,7	12,3	15,3	18,5	22,1	26,0	30,2	34,7
1000.....	0,5	1,3	2,4	3,8	5,5	7,5	9,9	12,6	15,5	18,8	22,5	26,4	30,6	35,2
1500.....	»	1,6	2,8	4,4	6,3	8,5	11,0	13,8	17,0	20,4	24,2	28,3	32,7	37,4
2000.....	»	1,9	3,3	5,0	7,1	9,4	12,1	15,1	18,4	22,0	25,9	30,1	34,7	39,6
2500.....	»	»	3,8	5,7	7,9	10,4	13,2	16,3	19,8	23,6	27,6	32,0	36,7	41,8
3000.....	»	»	4,2	6,3	8,6	11,3	14,3	17,6	21,2	25,1	29,4	33,9	38,8	44,0

TABLE VI bis. — Correction d'altitude.

(Cette Table doit être employée au lieu de la Table VI, mais seulement quand les observations ont été faites dans les deux stations avec des baromètres à mercure auxquels on n'a pas appliqué la correction de gravité. Elle a été calculée avec le coefficient $k = 2$, et ne convient donc strictement qu'aux observations faites loin du sol; dans les observations en montagne, il sera peut-être préférable, au lieu d'appliquer la correction donnée directement par cette Table, de la diminuer du sixième de sa valeur.)

Station inférieure z_0 .	Altitude de la station supérieure Z_1 .												
	500 ^m .	1000 ^m .	1500 ^m .	2000 ^m .	2500 ^m .	3000 ^m .	3500 ^m .	4000 ^m .	4500 ^m .	5000 ^m .	5500 ^m .	6000 ^m .	6500 ^m .
0.....	1,3	2,7	4,1	5,6	7,3	8,9	10,7	12,6	14,5	16,5	18,6	20,7	23,0
100.....	1,3	2,7	4,2	5,7	7,3	9,0	10,8	12,7	14,6	16,6	18,7	20,9	23,2
200.....	1,3	2,7	4,2	5,8	7,4	9,1	10,9	12,8	14,8	16,8	18,9	21,1	23,4
300.....	1,3	2,8	4,3	5,8	7,5	9,2	11,1	12,9	14,9	17,0	19,1	21,3	23,6
400.....	1,4	2,8	4,3	5,9	7,6	9,3	11,2	13,1	15,1	17,1	19,3	21,5	23,8
500.....	1,4	2,8	4,4	6,0	7,7	9,4	11,3	13,2	15,2	17,3	19,4	21,7	24,0
600.....	1,4	2,9	4,4	6,0	7,7	9,5	11,4	13,3	15,3	17,4	19,6	21,8	24,2
700.....	1,4	2,9	4,5	6,1	7,8	9,6	11,5	13,4	15,5	17,6	19,8	22,0	24,4
800.....	1,4	2,9	4,5	6,1	7,9	9,7	11,6	13,6	15,6	17,7	20,0	22,2	24,6
900.....	1,4	2,9	4,6	6,2	8,0	9,8	11,7	13,7	15,8	17,9	20,1	22,4	24,8
1000.....	1,5	3,0	4,6	6,3	8,0	9,9	11,8	13,8	15,9	18,0	20,3	22,6	25,0
1500.....	1,5	3,1	4,8	6,6	8,4	10,4	12,4	14,4	16,6	18,8	21,2	23,5	26,1
2000.....	1,6	3,3	5,1	6,9	8,8	10,8	12,9	15,1	17,3	19,6	22,0	24,5	27,1

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DES

PLUIES DANS LA RÉGION DU HAUT NIL,

PAR M. E. DE MARTONNE.

Des recherches sur l'hydrographie du haut Nil ⁽¹⁾ nous ayant conduit à y étudier le régime des pluies, nous avons été amené à rassembler toutes les observations pluviométriques faites dans ces régions. Il nous a paru qu'il pourrait être utile de trouver réunis et coordonnés tous les chiffres qui sont dispersés dans un grand nombre de périodiques, la plupart étrangers.

Les stations sur lesquelles nous avons des données sont au nombre de 38. C'est plus qu'on ne l'attendrait, au premier abord, de pays aussi peu connus. Ce nombre serait encore plus grand si, depuis le soulèvement des Mahdistes, la prise de Kartoum et la retraite d'Émin-Pacha, tout le bassin du Bahr el Gazal n'avait été rendu à l'entière barbarie. Les observations dont nous disposons sont dues à l'activité de voyageurs comme Speke [observations pendant quelques mois seulement en Karagoué et Ouganda ⁽²⁾], Reichard [observations à Kakoma dans l'Ounyamouézi une année entière ⁽³⁾], ou Scott Elliot [une année à Nami-rembo en Ouganda ⁽⁴⁾]; à des missionnaires anglais comme les R. P. Wilson et Felkin à Roubaga ⁽⁵⁾, Mackay à Mengo ⁽⁶⁾, Stewart Wright à Kavala sur le Tanganyika ⁽⁷⁾ et aussi à des missionnaires français comme le R. P. Lavinhae à

⁽¹⁾ *Die Hydrographie des oberen Nil-Beckens* (*Zeitschr. d. Gesellsch. für Erdk. in Berlin*, 1897, p. 303-342, avec 2 Cartes et plusieurs diagrammes).

⁽²⁾ *Journal of the Discovery of the source of the Nile*. App. F. *Climate of Victoria Nyanza*.

⁽³⁾ *Meteor. Zeitschr.*, 1883, p. 370; 1887, p. 417.

⁽⁴⁾ *The climatological and hydrographical conditions of tropical Africa* (*Report of the British Association for the advancement of Science*, 1895, p. 490).

⁽⁵⁾ *Peterm. Mittheilungen*, 1879, p. 64-66; 1880, p. 43-45.

⁽⁶⁾ SCOTT ELLIOTT (*A Naturalist in Mid Africa*; Londres, 1896, p. 47) donne les moyennes mensuelles de 8 années d'observation à Mengo, sans dire par qui elles ont été faites. Après bien des recherches, j'ai appris, de M. le professeur Hann, à qui les mêmes chiffres avaient été communiqués, que les observations étaient de Mackay et que le détail n'en avait point été publié.

⁽⁷⁾ *Journal of the Scottish Meteor. Soc.*, 3^e série, en manuscrit, IX, 1893, p. 111-114.

Roubaga (1); c'est encore à des missionnaires français qu'on doit une année presque complète d'observations sur la côte N. du Tanganyika (2).

Parmi les Européens qui ont longtemps séjourné dans le Haut-Nil au service de l'Égypte, seul Émin-Pacha a laissé des observations qui se recommandent par le soin et la continuité avec lesquels elles ont été faites. Nous avons de lui plus d'une année complète d'observations à Lado (3) et trois années complètes à Wadelai (4).

La fondation des colonies anglaises et allemandes (British-East-Africa et Deutsch-Ost-Afrika) s'étendant de la côte de Zanzibar au Tanganyika et au lac Albert a eu pour suite des tentatives d'organisation systématique des observations météorologiques. C'est surtout dans l'Afrique orientale anglaise que, grâce à la Section de Météorologie de la *British Association for the advancement of Science*, on a vu s'établir tout un réseau assez serré de stations, où les observations se poursuivent depuis quelques années non sans quelques interruptions et lacunes qui en diminuent sensiblement la valeur. Ces observations, publiées régulièrement depuis 1894 dans le Bulletin annuel de cette Association (5) se rapportent aux stations suivantes : Chouyou, Mombasa, Ribe, Takaoungou, Mboundou, Malindi, Jilore, Magarini, Lamou, Shimoni, Ndi, Kibwezi, Moshi et Sagala (Kilimandjaro), Fort Smith (Kikouyou) et Machako.

Dans l'Afrique orientale allemande on a aussi fait des efforts pour multiplier les observations météorologiques et spécialement pluviologiques. Malheureusement à part Moshi (Kilimandjaro) qui a donné une bonne série en 1894 (6), Dar-es-Salam, Tanga, Bagamoyo, Kitopeni et Kilwa qui ont une ou deux bonnes années(7), ces stations n'ont fourni pour la plupart que des observations pleines de lacunes ou même des chiffres tellement invraisemblables qu'on se demande quel observateur a pu les noter. Telles sont les stations de Mwansa, Njagesi et Oukerewe, Boukoba, Sagala (8), Marangou (9), Kilossa, Kwa-Mkoro, Sakarre et Lewa (10).

(1) *Ann. de la Soc. météor. de France*, 1883, p. 136-140.

(2) *Id.*, *ibid.*

(3) *Peterm. Mittheilungen*, 1880, p. 373-377. — *Ergänzungsheft*, 92, p. 84.

(4) *Meteor. Zeitschr.*, 1890, p. 273-274.

(5) *Report of the British Association for the advancement of Science*, 1894, p. 342-353; 1895, p. 480-491; 1896, p. 495-502.

(6) *Mittheilungen aus den deutschen Schutzgebieten*, 1895, p. 283-310. (*Bericht über die klimatischen und gesundheitlichen Verhältnisse von Moshi am Kilimandjaro*).

(7) *Regenmessungen in Deutsch-Ost-Afrika (Mittheil. aus den d. Schutzgeb.)*, 1896, p. 163-169; 1897, p. 222-231.

(8) *Mittheil. aus den d. Schutzgeb.*, 1896, p. 163-169.

(9) *Ibid.*, p. 3-32 : *Die Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen an der wissenschaftlichen Kilimandjaro-Station-Marangu*.

(10) *Mittheil. aus den d. Schutzgeb.*, 1897, p. 222-231.

Voici les chiffres obtenus mois par mois pour chacune de ces stations rangées par degrés de latitude.

	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année.
(1) Dar-es-Salam. — Lat. : 6°49' S. Longit. : 37° E (1).													
1893....	"	"	"	238	175	14	"	(39)	32	69	44	77	"
1894....	162	116	140	268	302	31	"	7	"	44	196	68	"
1895....	25	(2)	154	216	182	5	11	10	67	"	"	113	"
1896....	102	19	82	281	180	7	26	74	26	48	269	33	1147
1897....	60	103	68	444	166	38	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	87	80	111	289	201	19	19	32	42	54	170	73	1177
(2) Bagamoyo. — Lat. : 6°27' S. Longit. : 36°35' E.													
1892....	128	55	128	198	127	5	87	3	14	6	53	25	829
1893....	133	22	123	227	165	22	21	52	33	60	62	"	"
1894....	102	5	131	106	162	11	27	5	3	9	293	29	883
1895....	74	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	109	27	127	177	151	13	45	20	17	25	136	27	874
Kitopeni, près de Bagamoyo. — Lat. : 6°26' S. Longit. : 36°26' E.													
1892....	137	29	208	212	123	6	44	10	20	1	17	24	831
1893....	119	29	170	368	114	32	12	36	44	40	69	15	1048
1894....	137	3	157	116	169	17	28	5	28	10	302	79	1051
1895....	134	64	148	311	125	1	49	38	73	32	70	188	1233
1896....	119	22	94	252	172	34	16	99	20	33	300	68	1229
1897....	96	100	74	321	238	42	57	"	"	"	"	"	"
Moy...	124	41	142	263	157	22	34	38	37	23	152	75	1108
Kilossa. — Lat. : 6°49' S. Longit. : 34°33' E. Alt. : 502 ^m .													
1897....	62	116	39	233	28	"	"	"	"	"	"	"	"
(3) Kavala (Tanganyika). — Lat. : 5°25' S. Longit. : 27°35' E. Alt. : 800 ^m .													
1888....	"	"	"	"	"	"	(0)	(0)	80	112	226	183	"
1889....	(135)	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
(4) Masanzé (Tanganyika). — Lat. : environ 4° S. Long. : environ 29° E. Alt. : 800 ^m .													
1880....	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	138	"
1881....	179	139	124	232	59	"	21	6	9	6	"	"	"
1882....	"	"	102	265	200	0	0	13	31	"	"	"	"
Moy...	179	139	113	249	130	0	11	10	20	6	"	138	"

(1) Les chiffres placés avant le nom des stations correspondent à ceux de la Carte. Les totaux entre parenthèses sont entachés d'erreurs, soit parce qu'on n'a pas observé tous les jours, soit par suite de la négligence de l'observateur. Les stations pour lesquelles l'altitude n'est pas donnée sont à moins de 100^m au-dessus du niveau de la mer.

Janv. Févr. Mars. Avril. Mai Juin. Juill. Août. Sept. Oct. Nov. Déc. Année.

(5) **Kakoma.** — Lat. : 5°47' S. Long. : 30°9' E. Alt. : 1100m.

1881....	"	"	293	114	13	0	0	0	0	0	73	124	"
1882....	115	265	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	115	265	293	114	13	0	0	0	0	0	73	124	997

Lewa. — Lat. : 5°19' S. Long. : 36°20' E. Alt. : 245m.

1893....	"	"	"	"	"	"	"	116	67	161	190	115	"
1894....	9	93	113	96	"	128	"	23	27	30	331	81	"
1895....	"	"	58	154	182	25	39	46	97	76	271	14	"
1896....	75	2	162	195	293	37	58	98	85	142	538	117	1802
1897....	11	25	110	677	375	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	32	40	111	281	283	63	49	71	69	102	333	82	1516

(6) **Tanga.** — Lat. : 5°7' S. Long. : 34°45' E.

1892....	192	119	3	248	325	18	(200)	(113)	(271)	11	48	37	1585
1893....	109	151	113	239	145	28	25	61	3	72	323	53	1322
1894....	6	25	212	140	"	"	"	"	"	"	352	68	"
1895....	0	0	139	212	173	0	25	56	89	"	"	45	"
1896....	44	11	209	155	326	39	24	144	98	59	(796)	74	1979
1897....	34	57	34	433	562	115	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	64	61	118	238	306	40	69	94	115	47	380	55	1587

Kwa-Mkorro. — Lat. : 5°10' S. Long. : 36°11' E. Alt. : 980m.

1896....	"	"	"	"	"	"	42	214	124	197	898	88	"
1897....	27	89	80	(920)	642	70	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	27	89	80	(920)	642	70	42	214	124	197	898	88	3391

Sakarre. — Lat. : 5° S. Long. : 35°54' E. Alt. : 1420m.

1897....	93	116	87	526	553	54	"	"	"	"	"	"	"
----------	----	-----	----	-----	-----	----	---	---	---	---	---	---	---

(7) **Tabora.** — Lat. : 5°1' S. Long. : 30°27' E. Alt. : 1340m.

1893....	"	"	"	"	(58)	0	0	0	48	0	57	118	"
1894....	167	77	208	168	1	34	0	"	0	2	95	84	834
1895....	143	175	107	124	10	0	0	0	"	"	"	"	"
Moy...	155	126	158	146	23	11	0	0	24	1	76	101	821

(8) **Shimoni.** — Lat. : 4°38' S. Long. : 37°17' E.

1895....	"	6	51	161	227	188	39	31	143	18	84	29	"
1896....	6	0	"	53	306	103	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	6	3	51	107	267	146	39	31	143	18	84	29	924

DANS LA RÉGION DU HAUT NIL.

B.201

Janv. Févr. Mars. Avril. Mai. Juin. Juill. Août. Sept. Oct. Nov. Déc. Année.

(9) **Chouyou.** — Lat. : 4°30' S. Long. : 36°56' E.

1893....	115	39	222	389	274	236	67	51	8	17	278	39	1735
1894....	"	52	54	67	275	141	107	52	4	3	189	125	"
1895....	"	6	51	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	115	32	109	228	275	189	87	52	6	10	234	82	1419

(10) **Mombasa.** — Lat. : 4°4' S. Long. : 37°16' E. Kinyo

1875....	"	"	"	310	359	160	234	480	9	117	9	119	"
1876....	9	5	91	152	117	80	119	69	68	25	14	15	1064
1890....	"	"	"	176	423	40	54	35	15	4	64	34	"
1891....	16	1	16	95	376	143	43	52	63	224	90	65	1184
1892....	3	11	10	157	288	36	55	29	39	9	29	10	676
1893....	62	47	119	318	363	195	55	71	53	58	277	13	1634
1894....	4	64	37	77	312	108	38	34	7	17	193	73	964
1895....	0	9	77	88	254	37	34	17	158	77	86	36	873
1896....	10	0	71	53	278	111	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	15	20	60	158	341	101	79	98	52	66	95	46	1131

(11) **Ribe.** — Lat. : 3°55' S. Long. : 37°14' E. Alt. : 140^m.

1876....	"	"	"	"	131	85	130	57	56	26	18	82	"
1877....	39	0	105	133	291	164	105	217	295	368	508	90	2315
Moy...	39	0	105	133	211	125	118	137	176	197	263	86	1590

(12) **Takaoungou.** — Lat. : 3°41' S. Long. : 36°27' E. Takaoungou Kinyo

1892....	21	7	"	29	356	132	39	31	69	0	69	0	"
1893....	38	15	137	178	239	200	71	42	14	35	47	16	1039
1894....	0	0	49	116	391	139	47	12	9	4	18	15	800
1895....	0	2	130	116	318	26	25	24	131	27	99	8	906
1896....	"	0	"	63	259	31	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	15	5	105	100	313	106	46	27	56	17	58	10	858

(13) **Mboungou.** — Lat. : 3°40' S. Long. : 37°4' E.

1891....	"	"	"	"	153	57	22	31	18	95	90	"	"
1892....	39	38	60	45	68	39	"	"	"	"	40	"	"
1893....	114	29	220	148	96	"	12	13	39	128	"	"	"
1894....	"	"	"	"	71	16	43	1	1	143	52	"	"
1895....	0	28	106	"	185	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	51	32	129	97	115	37	26	15	19	122	61	"	"

(14) **Sagala.** — Lat. : 3°32' S. Long. : 36°9' E. Alt. : 1005^m.

1893....	13	48	76	150	30	"	"	16	"	"	153	251	"
1894....	"	"	"	"	"	"	"	"	50	20	"	"	"
Moy...	13	48	76	150	30	"	"	16	50	20	153	251	"

	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.	Jun.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année.
(15)	Ndii. — Lat. : 3° 20' S. Long. : 36° 3' E. Alt. : 730 ^m .												
1893....	28	56	127	38	9	2	1	1	"	"	143	124	"
1896....	3	16	27	66	21	0	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	16	36	77	52	15	1	1	1	"	"	143	124	"
(16)	Marangou. — Lat. : 3° 20' S. Long. : 36° 57' E. Alt. : 1350 ^m .												
1893....	"	"	"	"	"	86	145	168	(24)	(104)	241	19	"
1894....	10	15	336	(136)	216	112	(104)	40	(25)	"	383	136	"
Moy...	10	15	336	136	216	99	125	104	25	104	312	78	1560
(17)	Moshi (station anglaise). — Lat. : 3° 18' S. Long. : 36° 57' E. Alt. : 1500 ^m .												
1893....	80	"	"	"	"	"	"	16	50	20	128	231	"
(17)	Moshi (station allemande). — Lat. : 3° 18' S. Long. : 36° 54' E. Alt. : 1150 ^m .												
1894....	"	"	"	"	"	"	35	5	3	3	202	116	"
1895....	5	57	114	370	234	22	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	5	57	114	370	234	22	35	5	3	3	202	116	1166
(18)	Malindi. — Lat. : 3° 13' S. Long. : 37° 41' E.												
1891....	"	"	"	149	305	108	94	53	46	84	88	102	"
1892....	16	13	12	152	378	100	46	7	36	9	4	5	778
1893....	19	3	60	470	199	194	57	43	27	29	147	41	1289
1894....	10	1	33	11	358	132	45	30	0	2	64	50	736
1895....	1	3	22	65	352	1	99	11	15	202	84	34	889
1896....	0	0	5	111	214	154	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	9	4	26	160	301	115	68	29	25	65	77	46	925
(19)	Jilore. — Lat. : 3° 13' S. Long. : 37° 41' E.												
1893....	95	57	75	172	125	92	29	52	18	15	120	"	"
1894....	"	"	48	"	"	"	"	"	"	"	114	94	"
1895....	3	"	66	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	49	57	63	172	125	92	29	52	18	15	117	94	883
(20)	Magarini. — Lat. : 3° 5' S. Long. : 37° 40' E.												
1893....	22	9	68	341	133	148	67	50	18	21	122	25	1024
1894....	0	0	91	17	262	112	43	18	2	0	192	114	851
1895....	0	3	101	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	7	4	87	179	198	130	55	34	10	11	157	70	942

Kenya

Kenya

Kenya

DANS LA RÉGION DU HAUT NIL.

B.203

Janv. Fév. Mars. Avril. Mai. Juin. Juill. Août. Sept. Oct. Nov. Déc. Année.

(21) **Mwanza.** — Lat. : 2°35' S. Long. : 30°24' E. Alt. : 1200^m.

1894....	"	"	"	165	135	79	"	80	74	181	103	121	"
1895....	90	122	(116)	(311)	56	"	(0)	(0)	"	"	"	"	"
Moy...	90	122	116	238	96	79	0	40	74	181	103	121	1260

(22) **Onkéroué.** — Lat. : 2°8' S. Long. : 30°37' E.
Nj:gesi. — Lat. : 2°37' E. Long. : 30°27' E. Alt. : 1200^m.

1893....	"	"	(224)	203	68	"	"	"	"	"	"	"	"
1894....	"	"	"	(341)	125	"	"	"	"	"	"	"	"

(23) **Kibouézi.** — Lat. : 2°25' S. Long. : 35°29' E. Alt. : 920^m.

1893....	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	399	198	"
1894....	3	15	169	37	29	1	0	0	0	0	351	82	690
1895....	2	41	117	178	8	0	0	3	4	4	299	156	845
1896....	21	15	48	71	9	0	0	4	3	13	218	116	551
Moy...	10	35	121	95	15	0	0	2	2	6	318	138	742

Kibouézi Kenya

(24) **Lamou.** — Lat. : 2°16' S. Long. : 38°28' E.

1890....	5	0	38	50	459	61	55	31	31	33	1	0	767
1893....	10	26	75	394	415	74	22	14	25	43	9	23	1130
1894....	0	0	4	6	388	55	11	11	0	3	41	24	543
1895....	0	"	"	100	342	50	"	"	"	"	"	"	"
1896....	0	1	53	179	219	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	3	8	43	146	365	61	29	19	19	26	17	16	752

Lamou

(25) **Koulesa.** — Lat. : 2°10' S. Long. : 37°52' E. Alt. : 914^m.

1893....	"	34	41	68	49	3	53	25	"	"	"	"	"
----------	---	----	----	----	----	---	----	----	---	---	---	---	---

(26) **Fort Smith (Kikouyou).** — Lat. : 1°40' S. Long. : 34°28' E. Alt. : 1950^m.

1893....	"	"	348	396	217	7	26	"	67	16	127	97	"
1894....	28	58	135	186	206	88	54	26	56	32	170	237	1276
1895....	0	189	266	415	172	93	0	17	62	44	"	"	"
1896....	33	9	44	99	87	"	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	20	85	198	274	171	63	27	22	62	31	149	167	1269

en Kikuyu Province K

(27) **Machako.** — Lat. : 1°31' S. Long. : 34°52' E. Alt. : 1645^m.

1893....	"	"	"	"	"	"	"	"	0	35	169	161	"
1894....	19	4	139	237	35	15	2	2	1	32	461	105	1052
1895....	0	98	257	314	53	20	"	"	"	"	"	"	"
1896....	4	9	46	93	36	2	"	"	"	"	"	"	"
Moy...	8	37	147	215	41	12	2	2	1	34	315	133	947

	Janv.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année.	
(28)	Boukoba. — Lat. : 1°20' S. Long. : 29°29' E. Alt. : 1200 ^m . (Avec les observations de Speke en Karagoué.)													
1861....	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	71	"
1862....	87	92	100	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
1893....	"	"	"	"	"	"	"	58	70	(86)	199	142	"	"
1894....	"	"	"	"	"	12	"	61	5	110	195	73	"	"
1895....	89	166	299	(751)	(720)	4	(14)	"	"	"	"	"	"	"
Moy....	88	129	200	(751)	(720)	8	(14)	60	38	98	197	95	(2398)	
(29)	Roubaga. — Lat. : 0°20' N. Long. : 30°19' E. Alt. : 1300 ^m .													
1878....	"	"	"	100	37	39	"	"	"	"	54	87	"	"
1879....	142	92	127	144	85	"	"	"	"	"	"	"	"	"
1881....	"	"	"	315	110	35	78	142	88	"	"	"	"	"
Moy....	142	92	127	186	77	37	78	142	88	"	54	87	"	
(29)	Natete Mengo. — Lat. : 0°20' N. Long. 30°20' E. Alt. : 1300 ^m . (Moyenne de 8 années; le détail ne nous est pas parvenu.)													
	60	111	114	195	135	76	81	73	99	133	99	34	1210	
	Mumia's (Kavirondo). — Lat. : 0°20' N. Long. : 32°17' E. Alt. : 1220 ^m .													
1896....	"	20	106	101	185	156	170	170	130	117	206	41	1492	
1897....	90	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"		
(30)	Namirembo. — Lat. : 0°18' N. Long. : 30°8' E. Alt. : 1300 ^m .													
1893....	"	"	73	229	101	61	26	17	128	121	69	54	"	
1894....	9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
Moy....	9	"	73	229	101	61	26	17	128	121	69	54	"	
(31)	Wadelai. — Lat. : 2°45' N. Long. : 29°4' E. Alt. : 675 ^m .													
1885....	"	"	"	"	"	"	"	128	69	143	63	30	"	
1886....	68	34	114	43	109	51	112	109	101	76	228	21	1066	
1887....	39	3	214	83	115	67	55	145	128	128	22	38	1037	
1888....	3	32	59	116	136	125	147	110	71	301	49	30	1179	
Moy....	37	23	129	81	120	81	105	123	92	162	90	30	1073	
(32)	Lado. — Lat. : 5° N. Alt. : 465 ^m .													
1881....	"	"	"	"	"	"	"	184	"	"	"	"	"	
1882....	"	"	"	"	"	"	"	123	128	"	"	"	"	
1883....	"	"	"	103	"	"	"	"	"	25	25	0	"	
1884....	0	0	27	168	87	151	218	79	117	88	15	3	953	
Moy....	0	0	27	136	87	151	218	129	123	57	20	2	950	

(ganda Protect)

Un coup d'œil jeté sur la Carte ci-jointe (*fig. 1*) montrera combien ces stations sont inégalement réparties. A vrai dire, la plupart sont en dehors du bassin du Nil, et, si l'on se limitait aux stations comprises dans ce bassin, il serait impossible de dresser une Carte des pluies.

Au nord de Lado (5°), il n'a jamais été fait d'observations pluviométriques, pas même à Kartoum, qui fut si longtemps la capitale du Soudan égyptien. Junker, à qui l'on doit tant pour la connaissance du climat de l'Afrique centrale (1), n'a pu, dans aucune des stations qu'il avait installées dans le Haut-Ouélé, faire de mesures de pluies. L'explorateur belge Pruyssenaere, dont les Notes sur le Bahr-el-Abiad et la région du Kir, publiées par Zöpplitz (2), sont si nourries de faits intéressant la Climatologie, n'a pu non plus faire d'observations régulières en ce qui concerne les pluies. Il donne comme probable un total de plus de 3000^{mm} pour la région du Kir (3).

C'est sans doute sur ce chiffre, peu digne de foi et le seul connu alors, qu'est fondée la très invraisemblable répartition des pluies donnée par Berghaus (4) et reproduite encore maintenant dans tous les Atlas, malgré les nombreuses observations récentes qui la rendent inadmissible. On fait s'étendre une zone de 2000^{mm} de pluie sur le bassin du Sobat où la flore et la faune ont un caractère steppique plus accentué encore qu'aux environs de Lado (1000^{mm}).

Pour mettre en œuvre les données pluviométriques évidemment insuffisantes dont nous disposons, il faut tenir compte de ce que nous savons sur la Biogéographie de la région étudiée. Le sens de la différenciation climatérique doit être le même que celui de la différenciation biologique. Ceci est vrai surtout quand on s'occupe des pluies dans une région où la chaleur est constante, la moyenne d'aucun mois n'étant inférieure à 20°, et où, par suite, la vie végétale et animale ne dépend guère que de l'humidité plus ou moins grande de l'air et du sol. Nous avons montré ailleurs (5) que les limites des espèces caractéristiques de la flore et de la faune congolaises sont orientées NW-SE dans l'hémisphère Nord et SW-NE dans l'hémisphère Sud, ce qui dénote une augmentation de la sécheresse vers le NE au nord de l'équateur et vers le SE au sud de l'équateur. La Carte que nous avons donnée à ce propos montre que les formations végétales prennent un caractère de plus en plus xérophylle si l'on suit les deux mêmes directions. En allant vers le NE, on voit succéder à la forêt vierge la zone du Parc avec la forêt-galerie, le Parc ou la brousse, la savane, la steppe et enfin le

(1) *Peterm. Mittheil. Ergänzungsheft XCII. Wissenschaftliche Ergebnisse von Dr. JUNKERS Reisen in Zentralafrika, 2^e Partie.*

(2) *Peterm. Mittheil. Ergänzungsheft L-LI.*

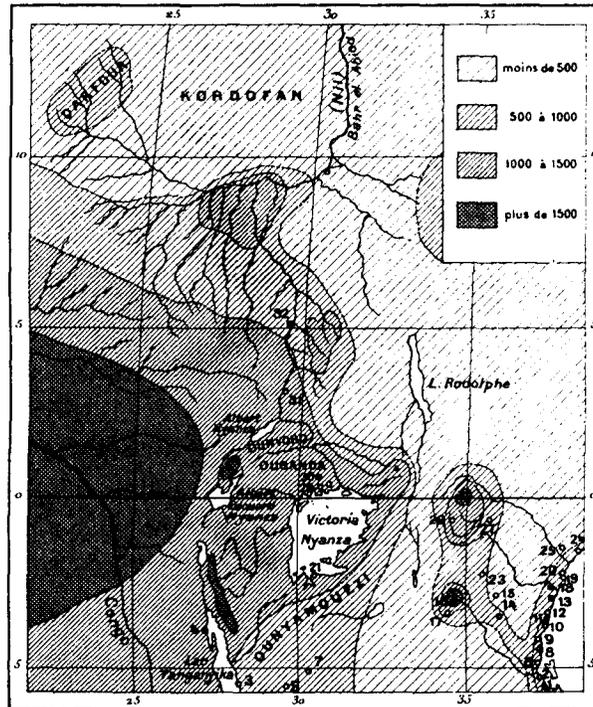
(3) *Peterm. Mittheil. Ergänzungsheft LI, p. 27.*

(4) *Physikalisches Atlas. Carte n° 37.*

(5) *Annales de Géographie, p. 506 sq.; 1896. Cf. la Carte des formes de la vie végétale et animale à*

désert. Si l'on s'appuie sur ces considérations et sur ce que nous savons du relief du sol ⁽¹⁾, on peut, non seulement pour les régions du Protectorat anglais et allemand, où nous avons un réseau assez serré d'observations, mais pour la partie septentrionale du bassin du haut Nil, qui en est complètement dépourvue, tracer une Carte des pluies avec quelques chances de vraisemblance ⁽²⁾.

Fig. 1.



Distribution des pluies dans la région du haut Nil.

Nous n'avons nulle part, dans le haut Nil lui-même, plus de 1500^{mm}. Cette zone doit s'étendre dans le bassin du Congo et nous en faisons concorder la limite avec celle de la forêt vierge. Toute la zone intermédiaire de la forêt-galerie et du Parc reçoit plus de 1000^{mm}, comme le prouvent les stations de Roubaga et

(1) Voir notre Carte orohydrographique du bassin du haut Nil au $\frac{1}{6000000}$ avec courbes de niveau de 500^m en 500^m (*Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin*, Tafel VIII; 1897).

(2) La carte (fig. 1) était déjà gravée lorsque nous sont parvenues un certain nombre de nouvelles observations (*Mittheil aus. d. D. Schutzgeb.*, 1897. *Proceedings of the Brit. Assoc. for the adv. of Science*, 1897); quelques stations n'ont pu être ainsi portées (Kitopeni, Lewa, Kwa Mkoro, Sakarre, Mumia's). D'après ces données nouvelles, l'aire de plus de 500^{mm} qui relie la région du Kenia à la région pluvieuse côtière doit s'étendre jusqu'au fleuve Rouvou (qui descend du Kenia) et même un peu au sud. L'aire côtière de plus de 1000^{mm} remonte la vallée du Rouvou en s'étendant sur tout l'Ousambara (rive gauche du Rouvou). Même une aire fermée de 1500^{mm} s'étend sur la basse vallée du Rouvou (Sakarre, Kwa-Mkoro, 1500^{mm}; Lewa, 1516^{mm}).

Mengo, qui sont dans cette position. La limite passe par le Kavirondo (Mumia's 1490^m) comme fait celle du Bananier et du Perroquet gris, et à l'est du Tanganyika septentrional (Masanzé > 900). Une zone où il tombe moins de 1000^{mm} et plus de 500^{mm} entoure la précédente. Elle ne peut s'étendre plus au nord que le Bahr-el-Arab, ni comprendre le bassin du Sobat. Elle laisse en dehors toute la zone désertique du lac Rudolf et des plateaux habités par les tribus Massaïques. Sa limite, qui s'infléchit vers le SW au sud de l'équateur, passe un peu à l'est de Tabora et Kakoma. Le long de la côte, grâce à l'influence des moussons, on voit s'étendre deux bandes étroites de 1500^{mm} et 1000^{mm}. Au milieu de ces grandes zones, on trouve des maxima isolés dus à l'altitude élevée, comme pour les montagnes du Parc et de l'Ousambara, la région du Kénia et du Kilimandjaro, l'Elgon et le Rounsooro, les montagnes bordières du fossé du Tanganyika, les montagnes Latouka et le Darfour. Malgré l'in vraisemblance du chiffre de 3000^{mm} donné par Pruyssenaere pour la région du Kir, nous avons jugé convenable d'en tenir compte en admettant un maximum fermé de plus de 1000^{mm}. En effet, par suite de circonstances multiples que nous ne pouvons analyser ici (1) (convergence des cours d'eau, absence de pente, etc.), cette région est couverte de marécages immenses, d'étendue très variable, qui, soumis à une évaporation intense, doivent maintenir constamment l'air imprégné d'une masse énorme de vapeur d'eau. Or, on sait le caractère tout local des orages dans les régions tropicales. Nul part ce caractère local n'est plus évident que dans la région du Kir, s'il faut en croire les descriptions très précises de Pruyssenaere (2).

Il est intéressant, surtout dans les régions équatoriales, de connaître non seulement la somme des pluies, mais leur répartition dans l'année. En effet, ce n'est pas seulement la vie des fleuves qui en dépend, comme dans les régions tempérées, mais encore la vie des plantes, des animaux et de l'homme lui-même. Les saisons ne sont plus dues aux variations de la température, qui sont insignifiantes (3), mais à celles de l'humidité qui sont considérables.

Si, avec les données insuffisantes dont nous disposons, on peut esquisser une Carte des sommes annuelles de pluie, il serait téméraire de vouloir faire une série de Cartes mensuelles. Ce que l'on peut toutefois essayer de mettre en évidence c'est le développement différent suivant la latitude des deux saisons sèches et des deux saisons pluvieuses.

On peut se servir à cet effet d'un schéma très simple :

On forme un Tableau à double entrée en portant dans le sens vertical les

(1) Voir notre Article sur l'Hydrographie du haut Nil (*Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin*, p. 330-332; 1897).

(2) *Petermann's Mitteilungen*. Ergänzungsheft, II, p. 27.

(3) L'amplitude annuelle est de 2° à Roubaga, de 5° à Lado.

degrés de latitude, dans le sens horizontal les mois de l'année. Pour chaque degré de latitude auquel correspond une station pluviométrique, ou une localité où l'on a observé les jours de pluie et la durée des saisons, la répartition des pluies dans l'année est ainsi représentée :

Pluies très abondantes (170^{mm} à 200^{mm} pour les stations pluviométriques) : 3 traits dans la case du mois correspondant.

Pluies abondantes (120^{mm} à 130^{mm} pour les stations pluviométriques) : 2 traits.

Pluies peu abondantes (70^{mm} à 80^{mm} pour les stations pluviométriques) : 1 trait.

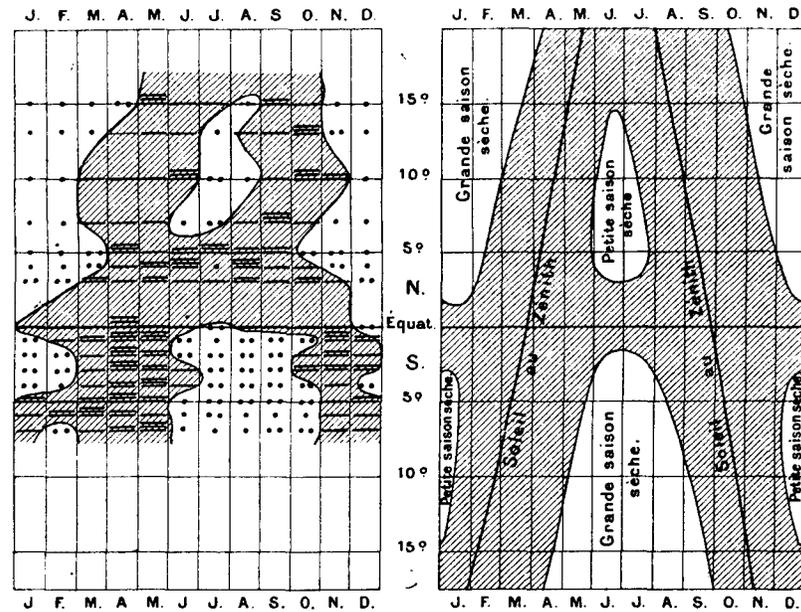
Pluies maigres (20^{mm} à 30^{mm} pour les stations pluviométriques) : 2 points.

Pluies nulles ou presque nulles (moins de 20^{mm} pour les stations pluviométriques) : 1 point.

Lorsque plusieurs stations ayant des données numériques se trouvent à peu près sur le même parallèle on fait la moyenne.

Nous obtenons, en appliquant ce procédé au haut Nil, un schéma qui est assez parlant. Il le devient davantage si l'on isole les cases ne portant qu'un ou deux points par une ligne continue (fig. 2, gauche). On détermine ainsi des aires

Fig. 2.



Répartition mensuelle des pluies dans la région du haut Nil.

correspondant aux périodes de sécheresse et aux périodes de pluie dont le développement aux différents degrés de latitude est facile à suivre. On voit ici nettement l'absence de saison sèche à l'équateur, due à ce fait que les deux positions

zénithales du Soleil qui déterminent les deux périodes de pluie partagent l'année en deux parties égales (régime de Roubaga). La latitude augmentant, il se forme deux périodes de pluie et deux saisons sèches, une grande et une petite. C'est naturellement la grande saison sèche qui apparaît la première. L'importance relative des deux saisons sèches est naturellement inverse des deux côtés de l'équateur. Lorsque l'on approche du tropique les deux positions zénithales du Soleil se rapprochant de plus en plus, la petite période sèche disparaît. Il n'y a plus qu'une période de pluie et une grande période sèche (Kordofan, Darfour, Kartoum).

En réalité notre schéma présente bien des irrégularités et si l'on n'était pas sûr qu'elles sont dues en grande partie, dans le cas présent, à l'insuffisance de nos informations, il serait intéressant d'en préciser la nature. Pour cela on pourrait avoir recours à un schéma théorique du développement des saisons suivant la latitude dans les régions intertropicales. Si l'on trace la courbe représentative des dates des positions zénithales du Soleil entre les deux tropiques, la limite des aires représentant les saisons sèches suit cette courbe à une distance d'un mois et demi à deux mois et demi, excepté aux environs de l'équateur où il n'y a ordinairement pas de saison sèche (*fig. 2, droite*). La surface qui représente la petite saison sèche est limitée par une ovale allongée, tandis que la grande saison sèche est représentée par une aire en forme de cloche. Ces surfaces sont assez déformées dans le schéma réel que nous avons obtenu pour le haut Nil. Si l'on possédait des schémas semblables pour d'autres contrées intertropicales on y constaterait d'autres déformations des aires de saison sèche, qui pourraient être considérées comme caractéristiques du climat de la région, et dont il serait intéressant de rechercher les causes.

Dans une région où les observations seraient assez nombreuses on pourrait, à côté du schéma moyen, faire divers schémas avec des séries de stations placées dans une situation analogue. Les données que nous avons réunies pour notre Carte des pluies pourraient nous permettre de construire deux schémas semblables pour les stations côtières de l'océan Indien, et les stations continentales situées entre 1° et 7° de latitude Sud. L'écart du schéma théorique serait surtout grand pour les stations de la côte. Le principal trouble est dû à la station Tanga qui a un régime de pluie presque équatorial et à la station Lamou qui n'a pas de petite période de pluie. Pour les stations d'intérieur, la petite saison sèche a déjà disparu par 6° à 7° de latitude tandis que la grande saison sèche a pris une extension considérable. Est-ce un effet de la sécheresse du climat? Serait-ce une nouvelle preuve de ce fait que l'équateur météorologique ne concorde pas en Afrique avec l'équateur réel, mais est situé légèrement au nord de ce dernier?

Il est prudent de ne pas trop chercher à expliquer des anomalies qui sont certainement dues en partie à l'insuffisance des données.

En résumé, la région qu'embrasse l'étendue de notre Carte des pluies offre des exemples de cinq régimes différents de pluies :

1° Le type tropical Nord. Exemple : Kartoum, pas de données numériques.

2° Le type subéquatorial Nord. Exemple : région du Kir, pas de données numériques, mais Wadelaï représente la transition au type équatorial. La grande période sèche y est déjà marquée, la petite n'est pas encore nettement différenciée.

3° Le type équatorial. Exemple : Mengo, où l'on constate l'absence presque complète de période sèche.

La transition au type subéquatorial Sud s'observe à Mwansa, qui correspond à Wadelaï au nord de l'équateur, avec inversion de l'importance des périodes sèches.

4° Le type subéquatorial Sud a son meilleur exemple à Dar-es-Salam, où l'on voit nettement différenciées deux saisons sèches : une grande (juin-septembre) et une petite (janvier-février).

5° Le type tropical Sud ne devrait pas normalement se rencontrer sur notre Carte, qui s'arrête à 6°S; pourtant nous en trouvons déjà des représentants dans les stations d'intérieur comme Tabora, 5°S, qui n'a qu'une période sèche.

On voit qu'une station n'a pas toujours le régime qu'elle devrait avoir d'après sa latitude. Le régime varie aussi suivant la situation géographique. On s'en rendra compte en comparant des stations situées à la même latitude, comme Lamou (station côtière), Kibwezi (station sèche de l'intérieur) et Mwanza (station pluvieuse de l'intérieur), ou comme Mombasa (station côtière) et Tabora (station de l'intérieur).

Pour une même station, les variations du régime sont souvent très grandes d'une année à l'autre. A Mombasa, par exemple, le seul élément constant est le premier maximum de pluie, qui est toujours en mai. La petite saison des pluies est très variable et peut aller jusqu'à disparaître dans les années sèches. Encore la station de Mombasa est-elle une de celles où le régime est le plus régulier. On peut dire que, en moyenne, pour une station donnée, une année sur quatre montre une répartition des pluies où il est impossible de reconnaître le régime de précipitations que devrait avoir la région d'après sa latitude (1). Une station équatoriale peut, pendant une année de sécheresse, voir se différencier deux saisons sèches, dont une prendra une extension telle que le régime paraîtra presque tropical.

Ce cas peut devenir le régime normal pour une station presque équatoriale

(1) C'est ce qui explique, en partie, les irrégularités du schéma n° 2. Les observations n'ont presque jamais été poursuivies pendant assez longtemps pour que ces troubles soient éliminés, et, lorsque nous n'avons que des indications verbales, il est rare que le voyageur soit resté assez longtemps dans la région pour avoir une idée exacte des époques de saison sèche et pluvieuse.

par sa latitude, mais située dans un pays très sec. Ainsi Kibwezi a deux saisons des pluies :

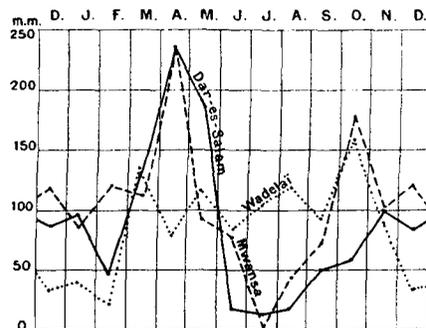
1894.....	1 ^o mars à mai	2 ^o novembre à décembre
1895.....	1 ^o février à avril	2 ^o novembre à décembre

C'est un régime comme celui qui règne ordinairement par 8° de latitude.

On s'explique ainsi que la région si sèche qui s'étend sur les plateaux à l'est du Victoria-Nyanza n'ait que des fleuves non pérennes, et que bien des espèces végétales et animales qui vivent sur la rive ouest du Victoria-Nyanza soient absentes de la rive est.

Toutes ces variations de régime qu'on note dans les stations pluviométriques peuvent être mises en évidence par la méthode des courbes pluviométriques dont un exemple est donné dans la *fig. 3* qui montre la variation du régime suivant la latitude.

Fig. 3.



Variation annuelle de la pluie suivant la latitude.

Ce procédé de représentation, s'il est moins parlant et d'un intérêt moins général que notre premier schéma, est susceptible d'une plus grande précision.

On peut prévoir que lorsqu'on aura, pour les contrées intertropicales, des observations phénologiques aussi précises que pour les pays de climat tempéré, les courbes pluviométriques pourront prêter aux mêmes applications que les courbes thermométriques de nos climats ⁽¹⁾. A part quelques anomalies signalées dans des années exceptionnelles ⁽²⁾, on peut dire que dans les pays tropicaux c'est de l'humidité que tout dépend. L'humidité du sol et de l'air étant en rapport direct avec la quantité de pluie tombée depuis un espace de temps limité, si l'on connaît la période végétative d'un arbre, en même temps que le régime des pluies dans un pays où il est très répandu, on pourra établir

⁽¹⁾ Voir, par exemple, la *courbe phénothermique* du bouleau, dans le *Manuel de Géographie botanique* de O. DRUDE, traduction Poirault, p. 249.

⁽²⁾ Par exemple, dans le Vénézuéla on a signalé la feuillaison et la floraison de divers Erithrina, Bombax, Eriodendron, etc. en pleine saison sèche (*Botanische Zeitung*, p. 38-42; 1876).

la somme mensuelle de pluies qui lui est nécessaire pour végéter, et obtenir des courbes *phénohyétiques* semblables aux courbes phénothermiques. On aura ainsi un moyen de se rendre compte des réductions de la période végétative suivant la latitude et la position géographique, et de saisir la cause qui fixe à un endroit déterminé la limite de la plante considérée.

Nous ne sommes malheureusement pas en état de donner des exemples de cette méthode pour la région du haut Nil. Il faut s'estimer heureux de pouvoir esquisser une Carte des sommes annuelles des pluies, et de se rendre compte approximativement de leur répartition saisonnale.

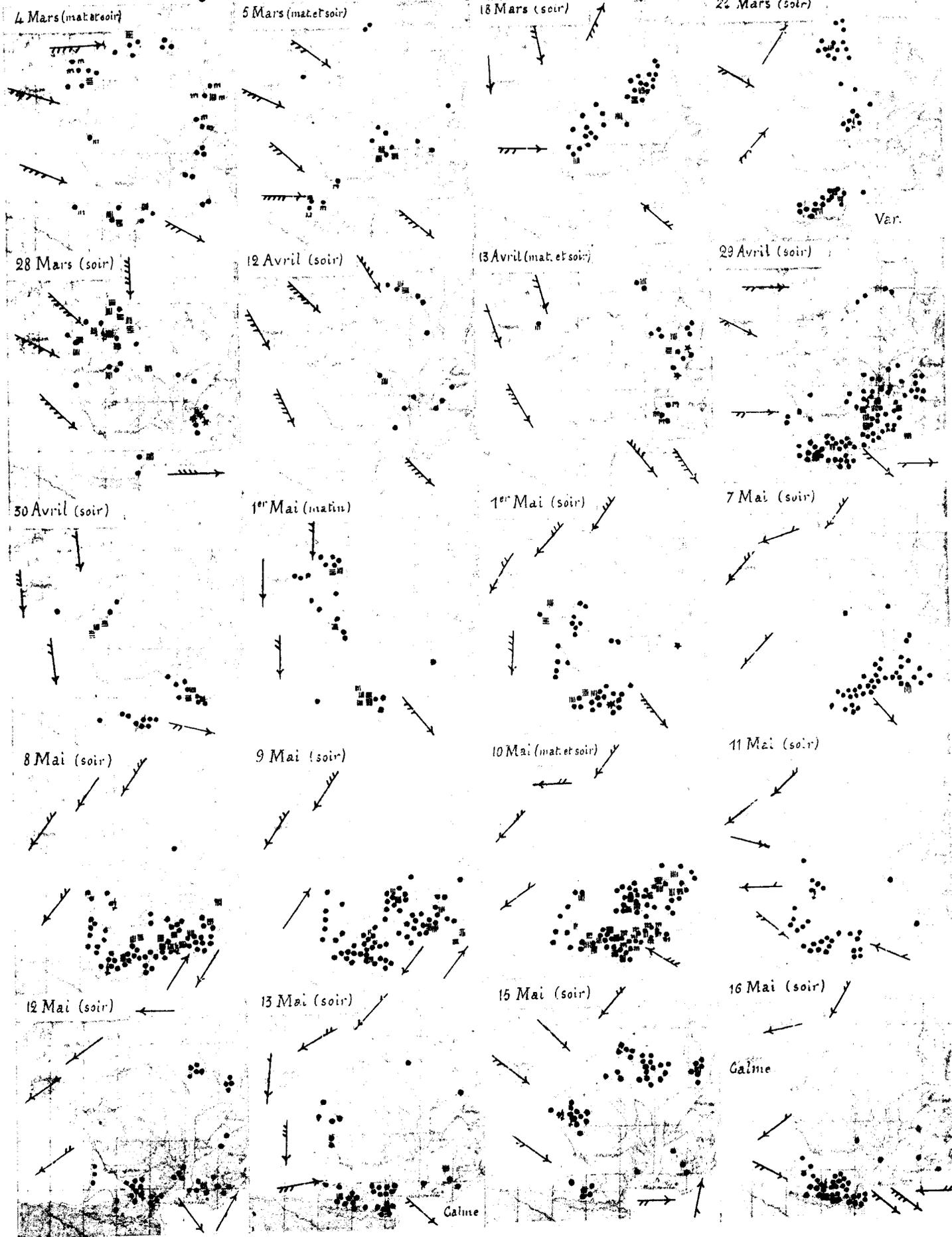


PLANCHES.

CARTES JOURNALIÈRES DES ORAGES DE L'ANNÉE 1896

Bureau central Météorologique de France.

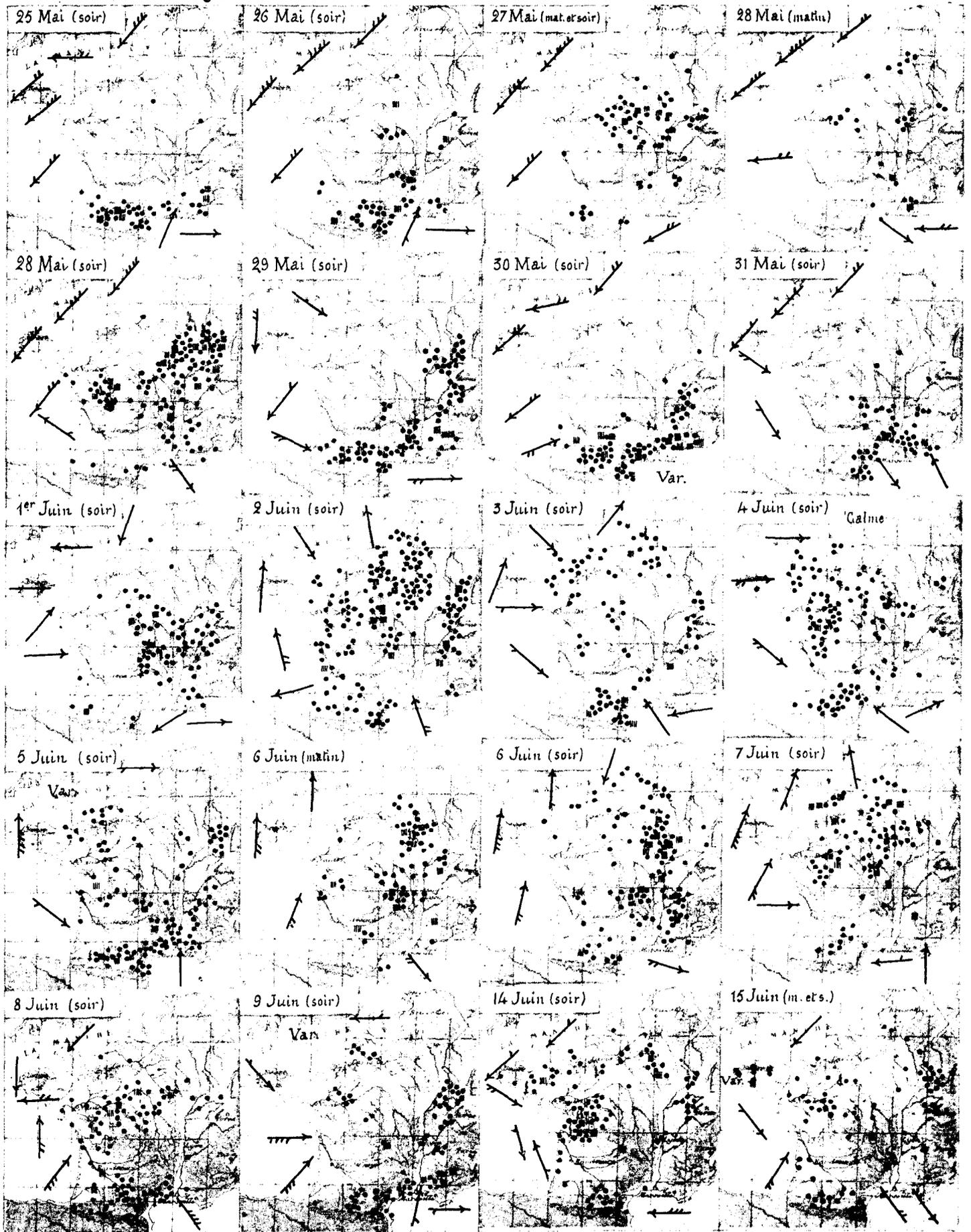
Annales de 1896. T. I. Pl. XI



CARTES JOURNALIÈRES DES ORAGES DE L'ANNÉE 1896

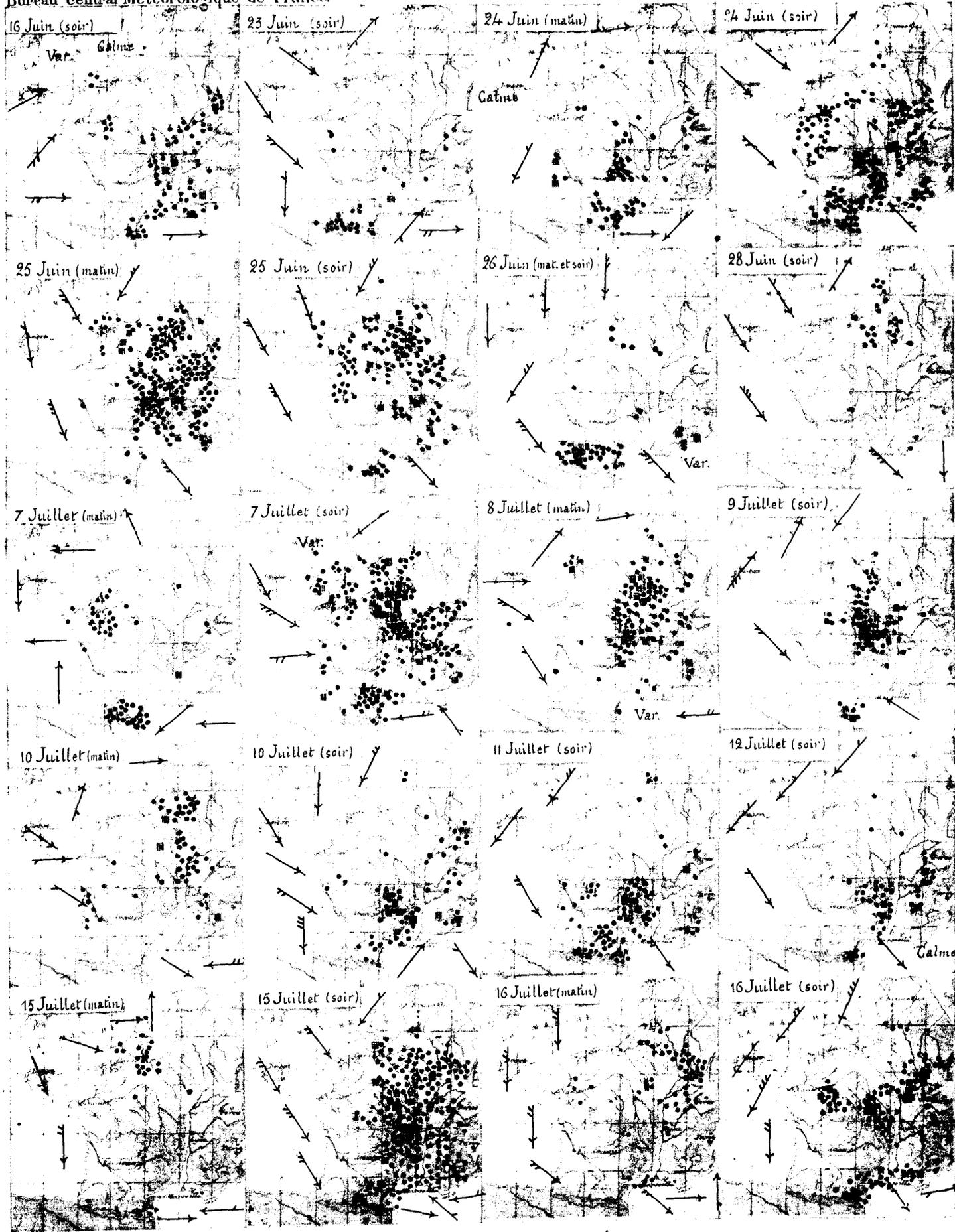
Bureau central Météorologique de France.

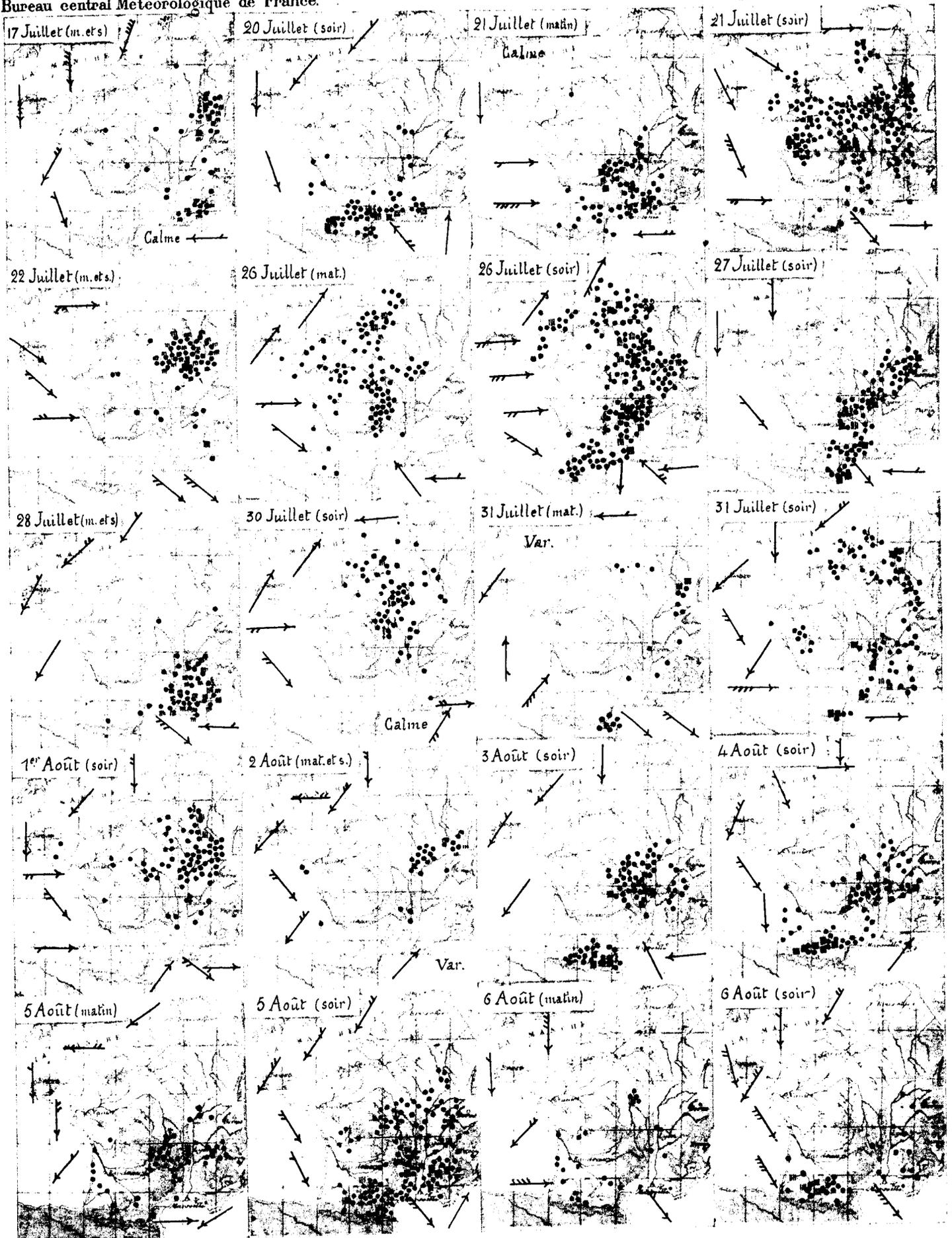
Annales de 1896. T. I. Pl. A. 2



Bureau central Météorologique de France.

Annales de 1896. T1. Pl. A 3.

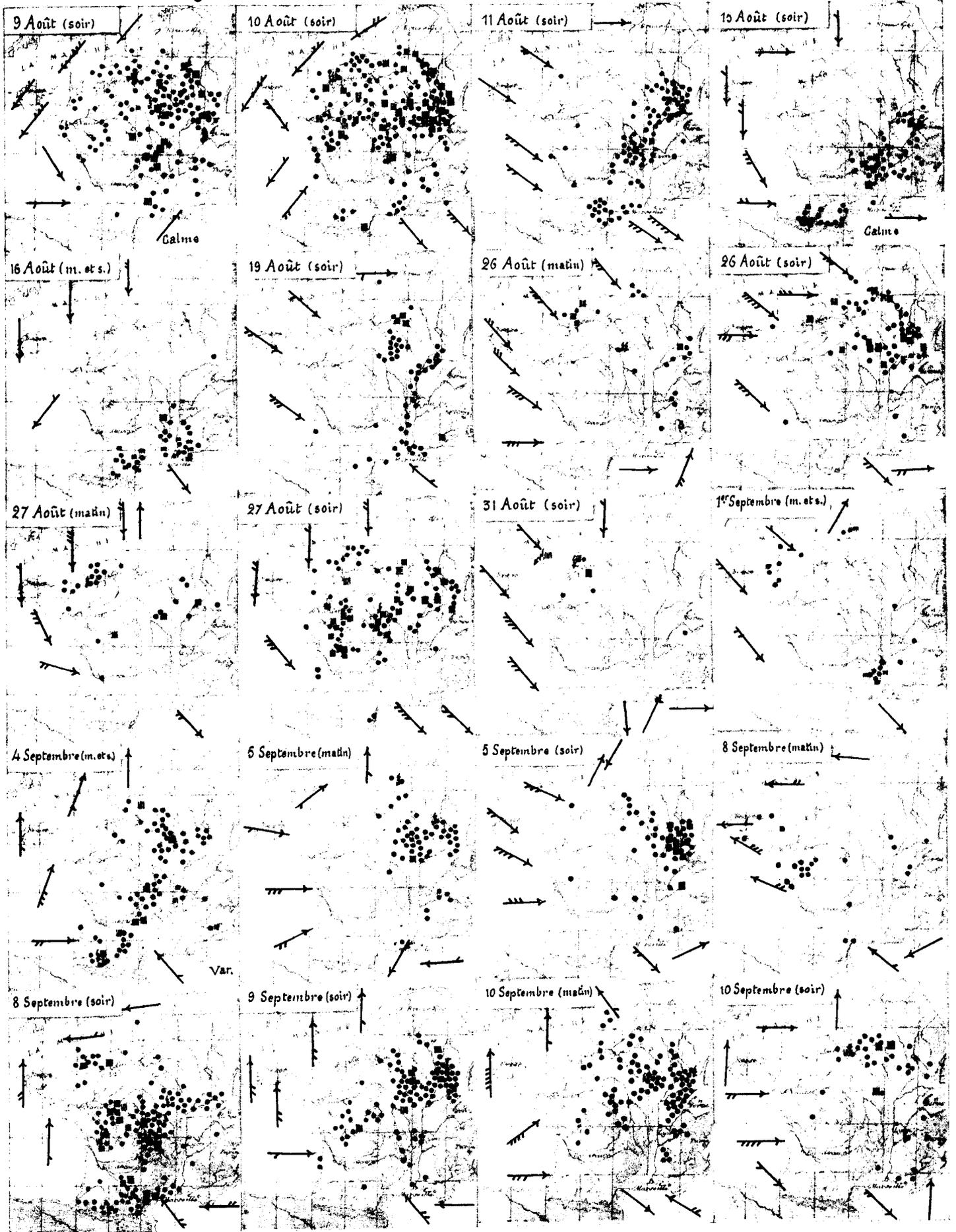




CARTES JOURNALIÈRES DES ORAGES DE L'ANNÉE 1896

Bureau central Météorologique de France.

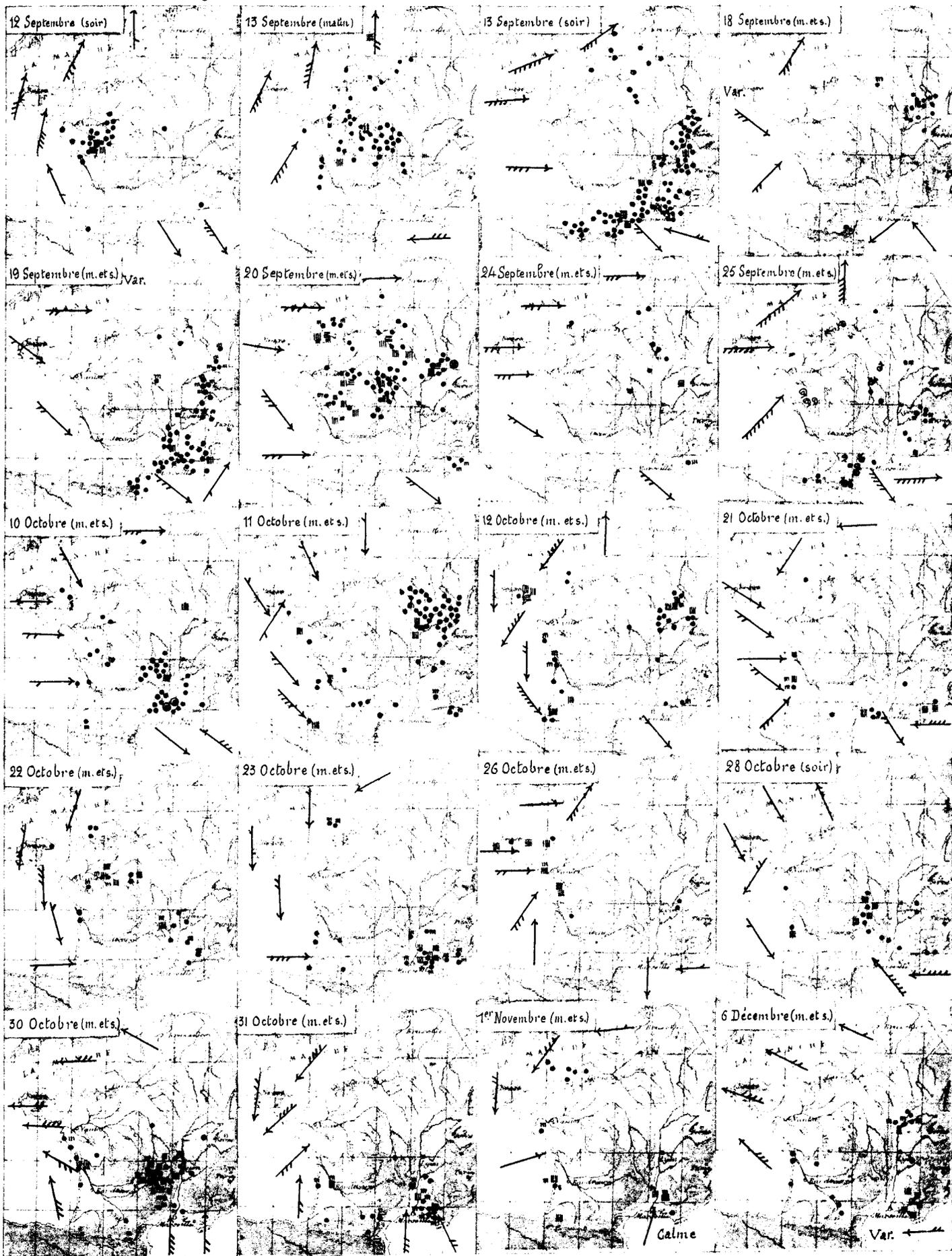
Annales de 1896 T. I. Pl. A. 5.



CARTES JOURNALIÈRES DES ORAGES DE L'ANNÉE 1896

Bureau central Météorologique de France.

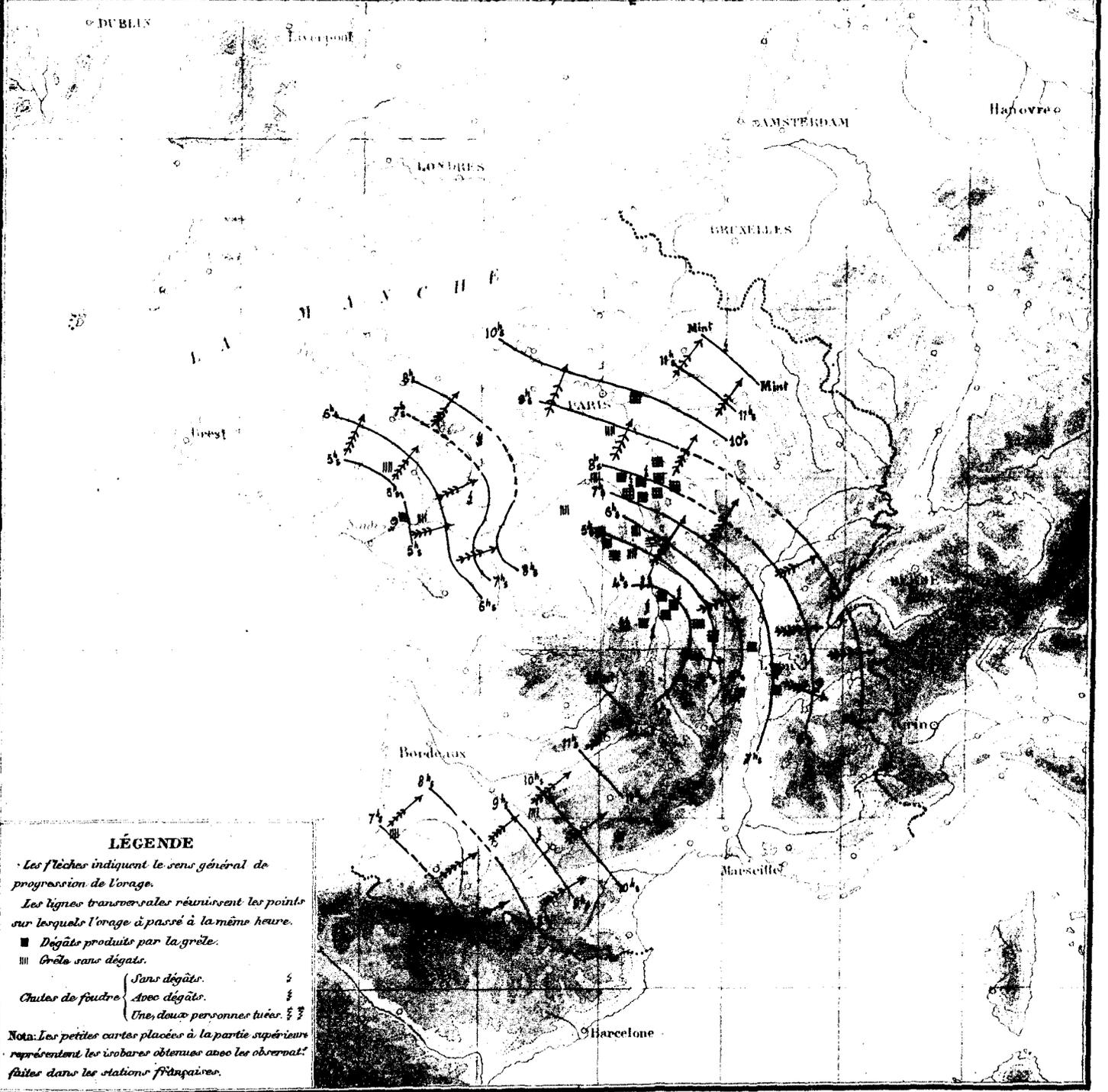
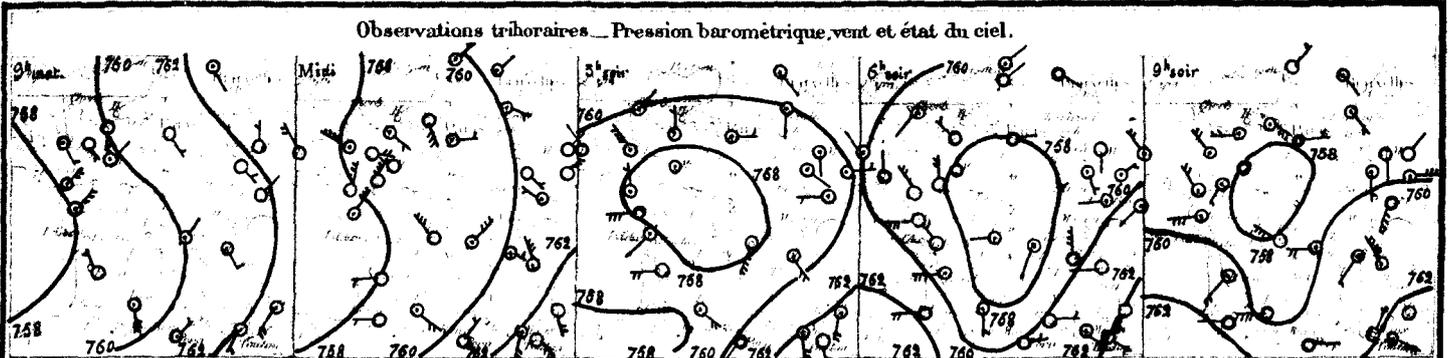
Annales de 1896 T. I. Pl. A. 6.



ORAGES DU 7 JUILLET 1896

Bureau central Météorologique de France.

Annales de 1896 T. I. Pl. A. 7.



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.
- Dégâts produits par la grêle.
- ▨ Grêle sans dégâts.
- Chutes de foudre { Sans dégâts. 5
- Avec dégâts. 3
- Une, deux personnes tuées. 2/2

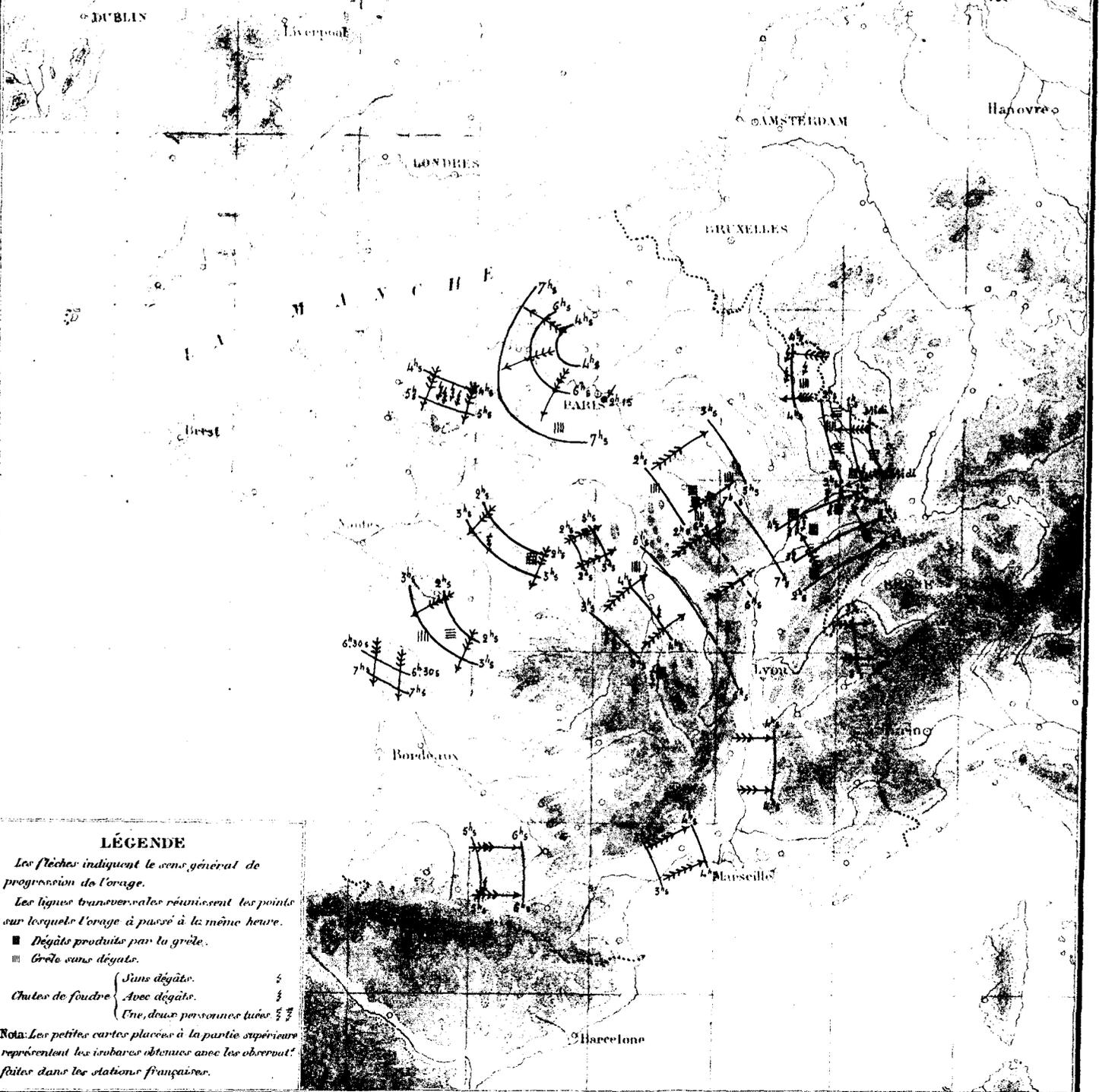
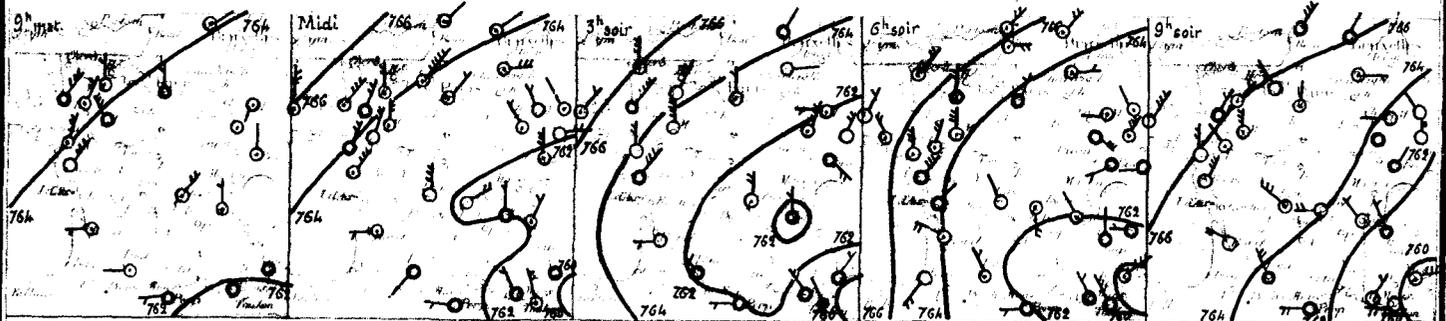
Nota: Les petites cartes placées à la partie supérieure représentent les isobares obtenus avec les observations faites dans les stations françaises.

ORAGES DU 10 AOÛT 1896

Bureau central Météorologique de France.

Annales de 1896 T.I. Pl. A. 8.

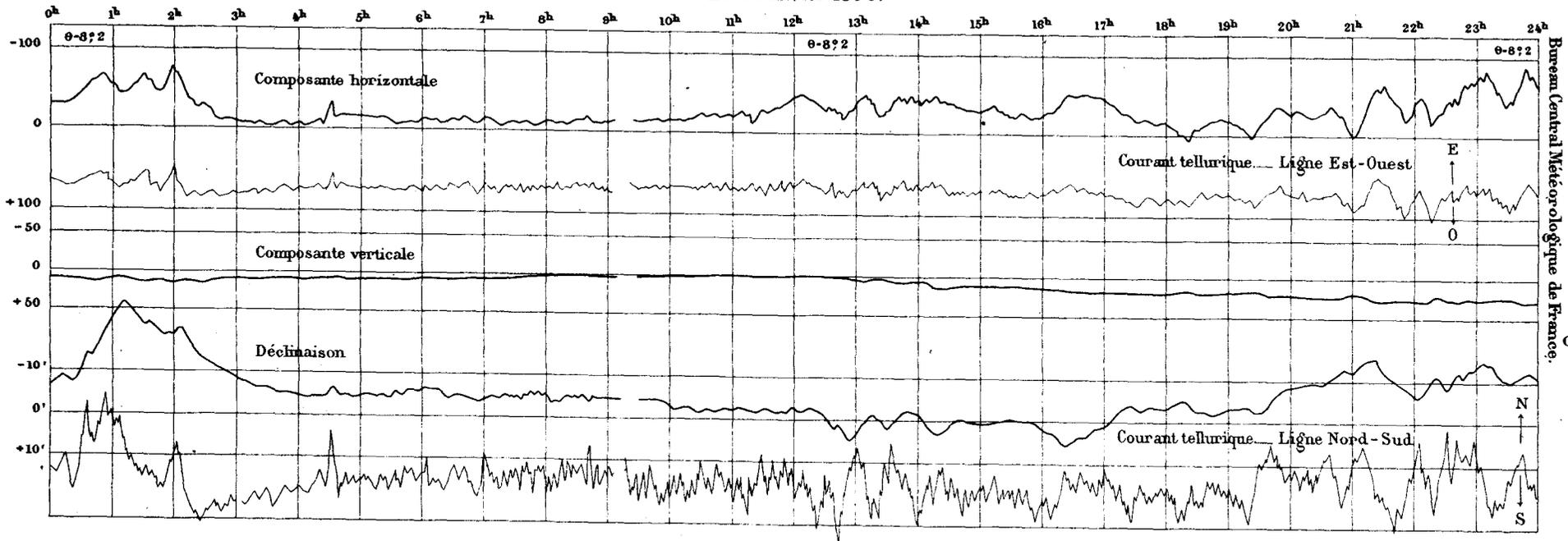
Observations trihoraires... Pression barométrique, vent et état du ciel.



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.
 ■ Dégâts produits par la grêle.
 ▨ Grêle sans dégâts.
 ⚡ Chutes de foudre { Sans dégâts. 1
 { Avec dégâts. 2
 { Une, deux personnes tuées 3/4
 Nota: Les petites cartes placées à la partie supérieure représentent les isobares obtenues avec les observations faites dans les stations françaises.

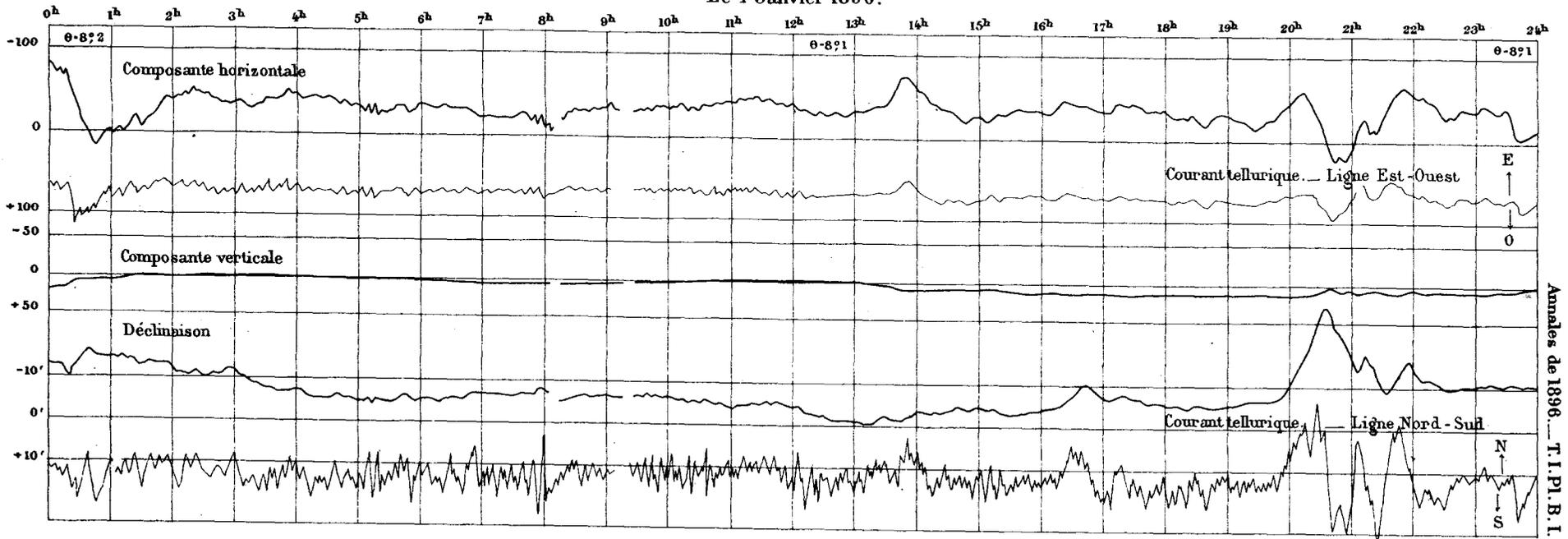
Le 3 Janvier 1896.



Bureau Central Météorologique de France.

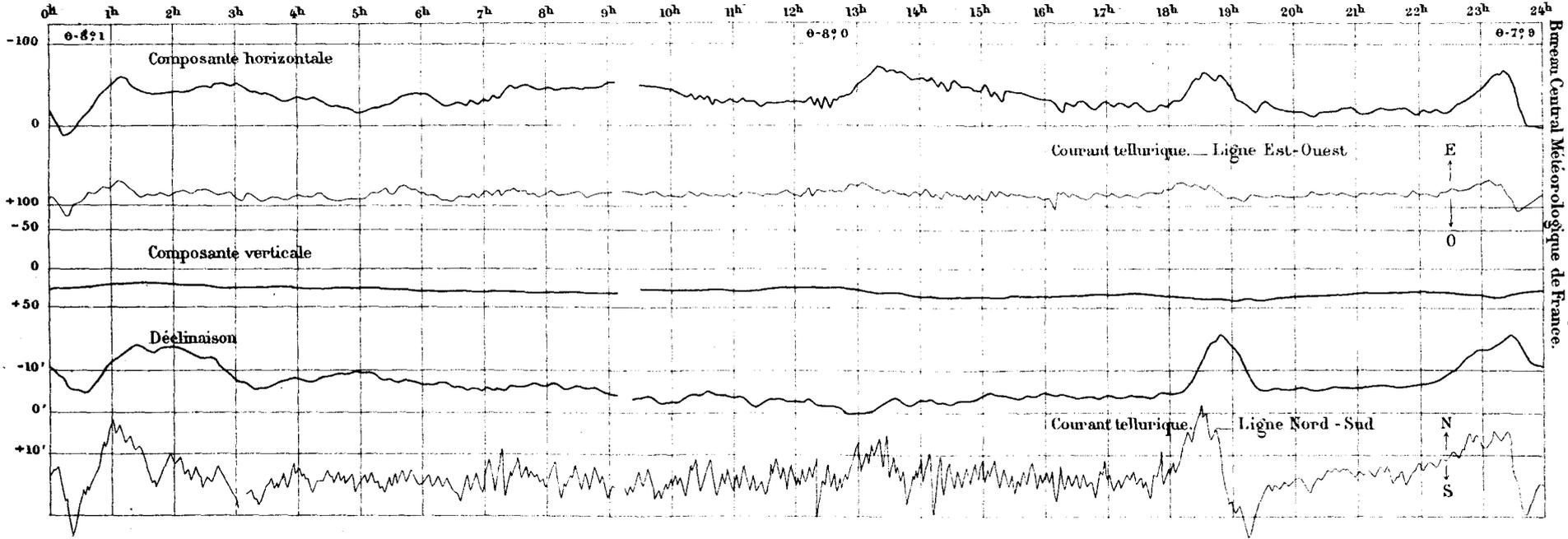
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

Le 4 Janvier 1896.

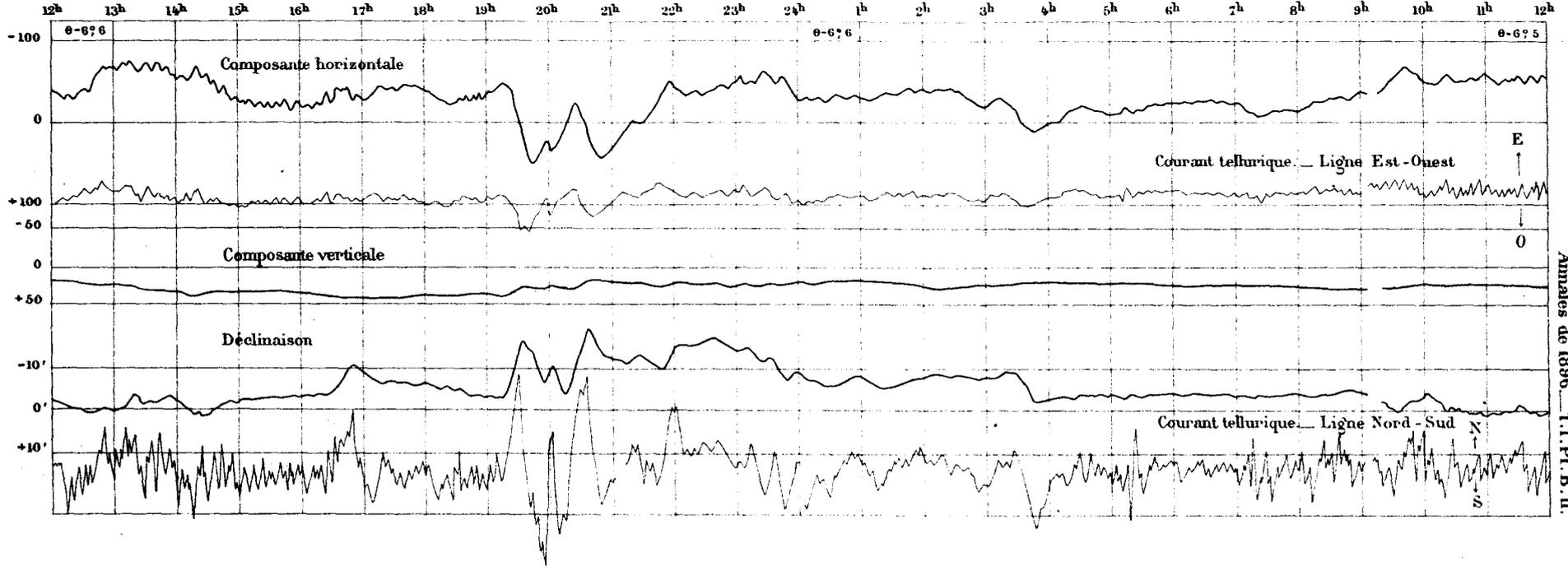


Annales de 1896. — T. I. P. I.

Le 5 Janvier 1896.



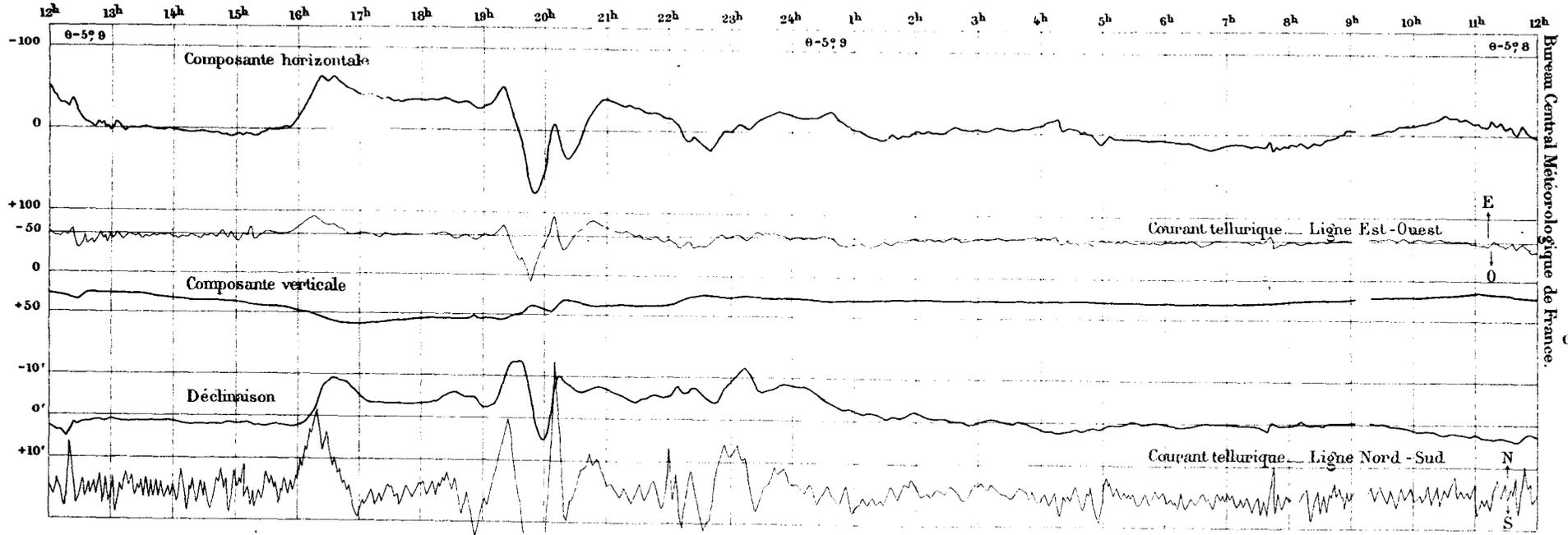
Du 31 Janvier au 1^{er} Février 1896.



PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.
Annales de 1896. T. I. Pl. B. II.

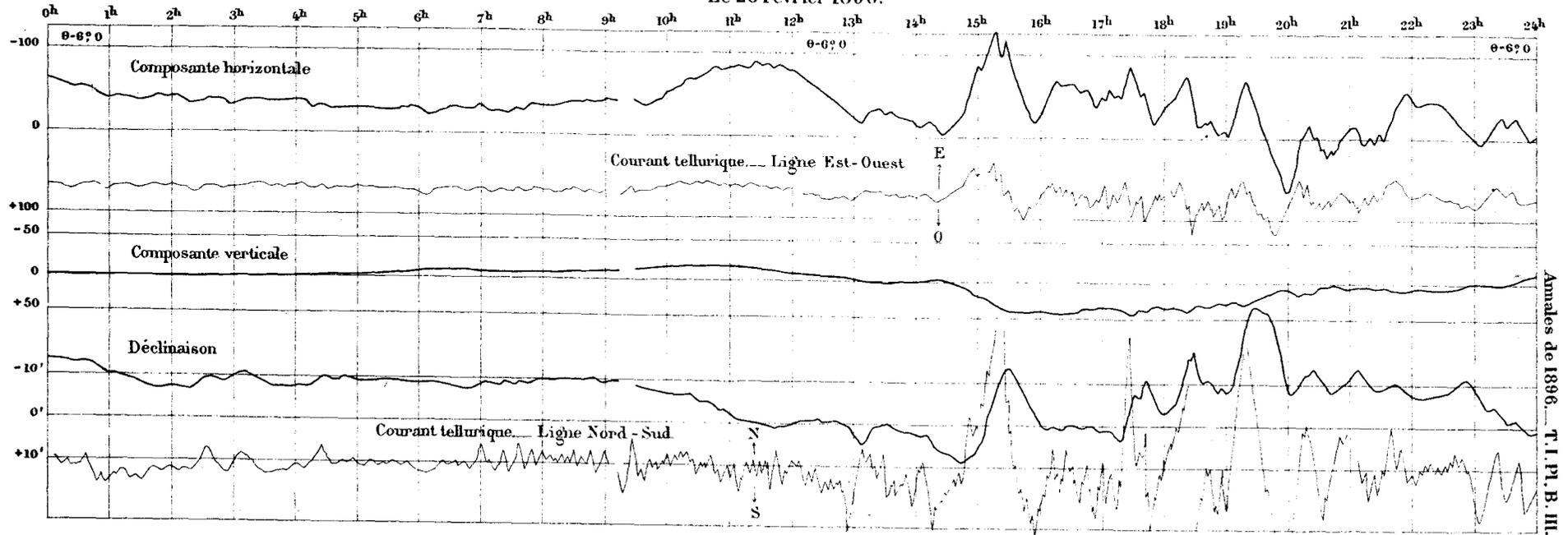
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
 enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

Du 4 au 5 Février 1896.



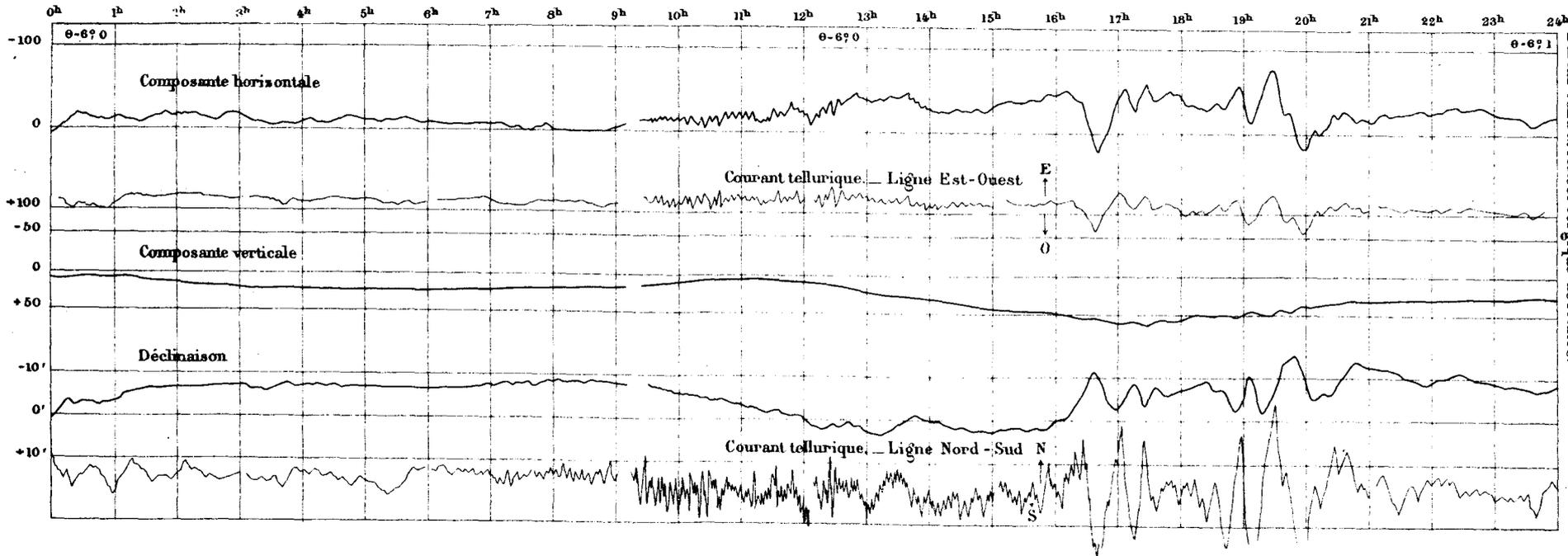
Bureau Central Météorologique de France.

Le 28 Février 1896.

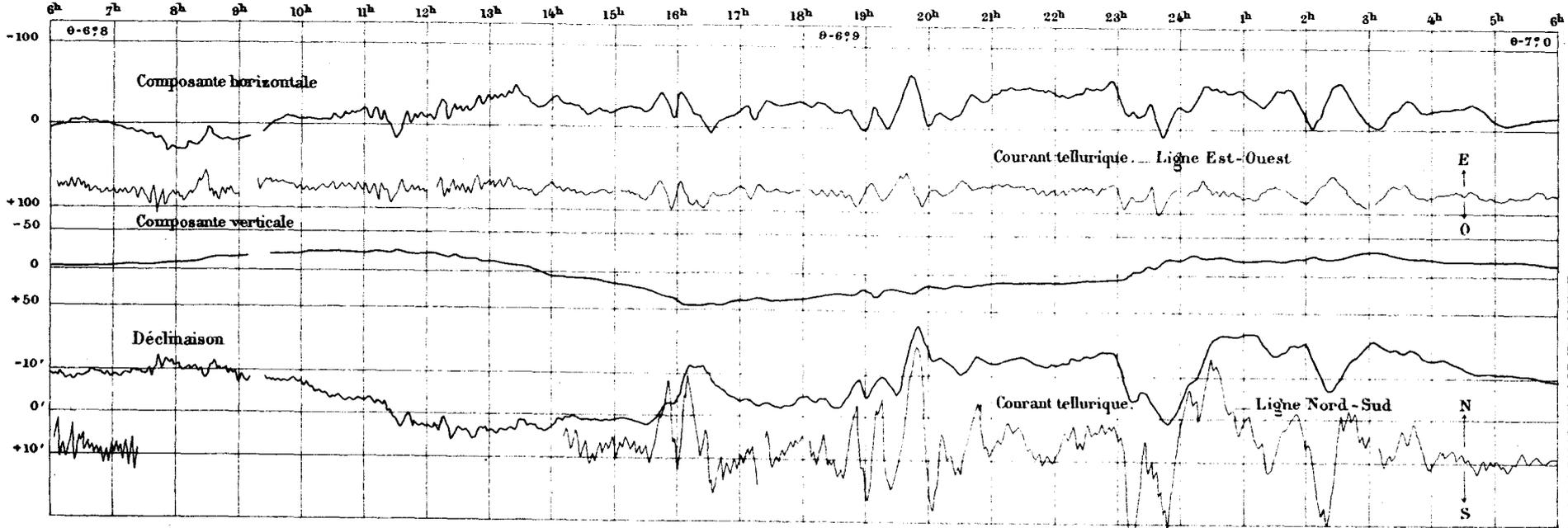


Annales de 1896. T. I. Pl. B. III.

Le 29 Février 1896.

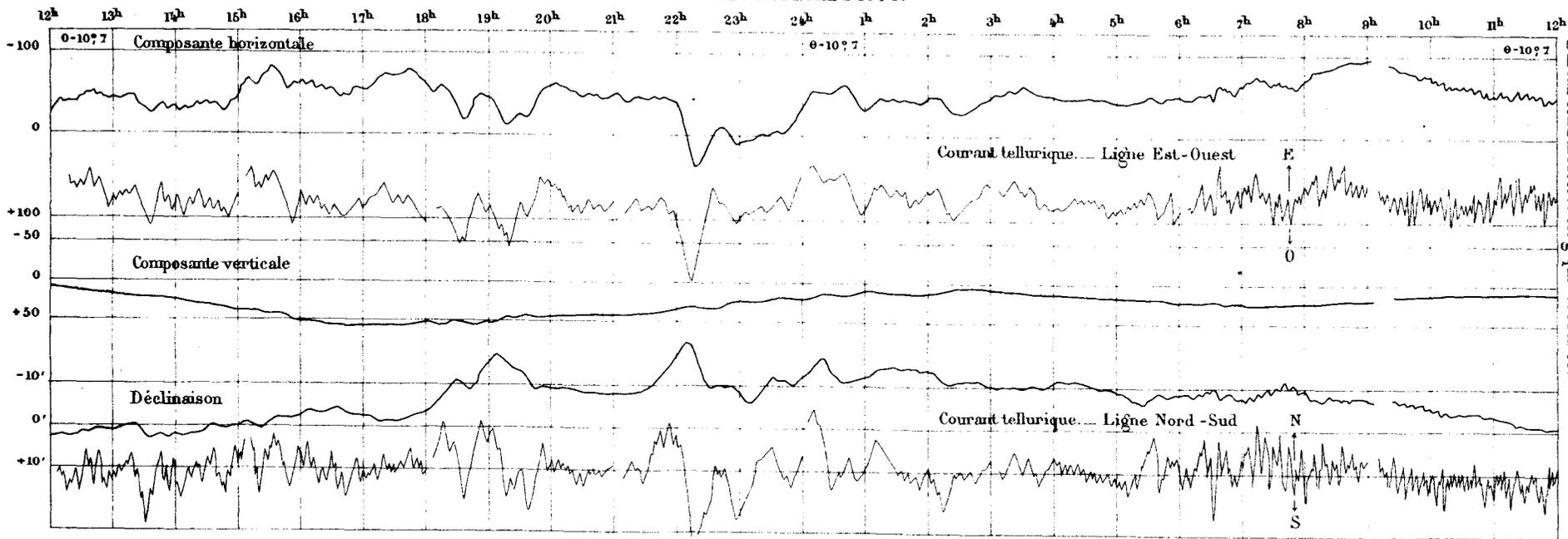


Du 4 au 5 Mars 1896.

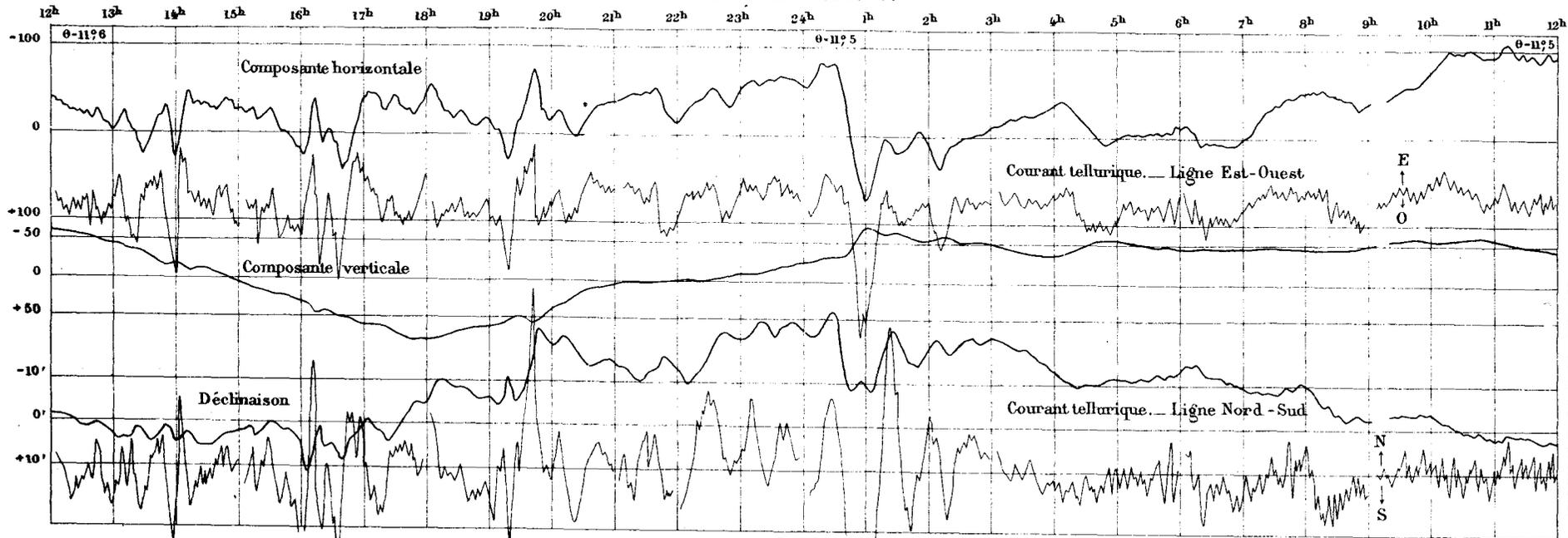


PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

Du 26 au 27 Mars 1896.



Du 2 au 3 Mai 1896.

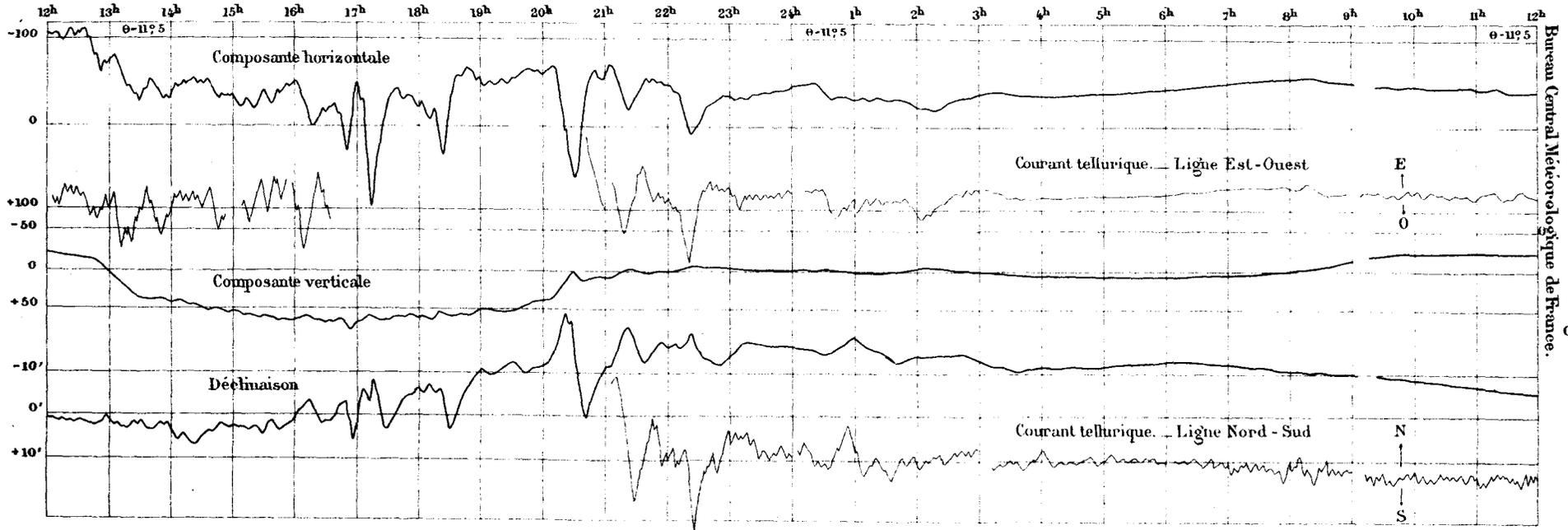


Bureau Central Météorologique de France.

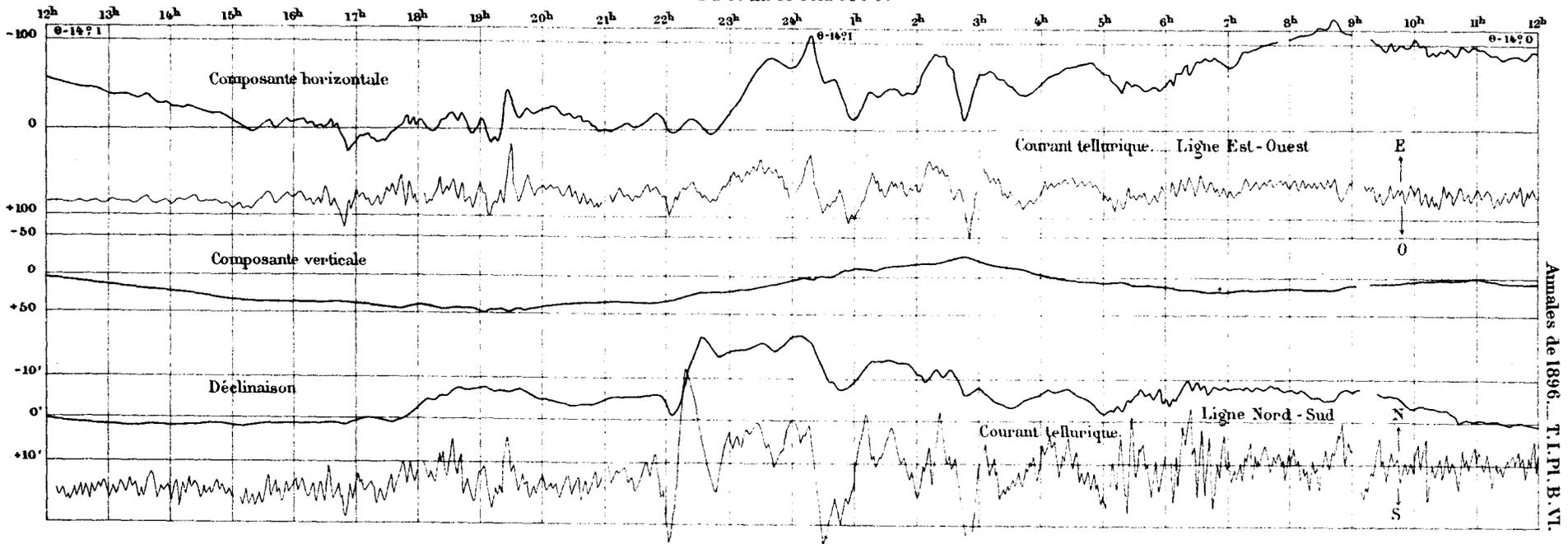
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

Annuaire de 1896. T. I. Pl. B. V.

Du 3 au 4 Mai 1896.



Du 17 au 18 Mai 1896.



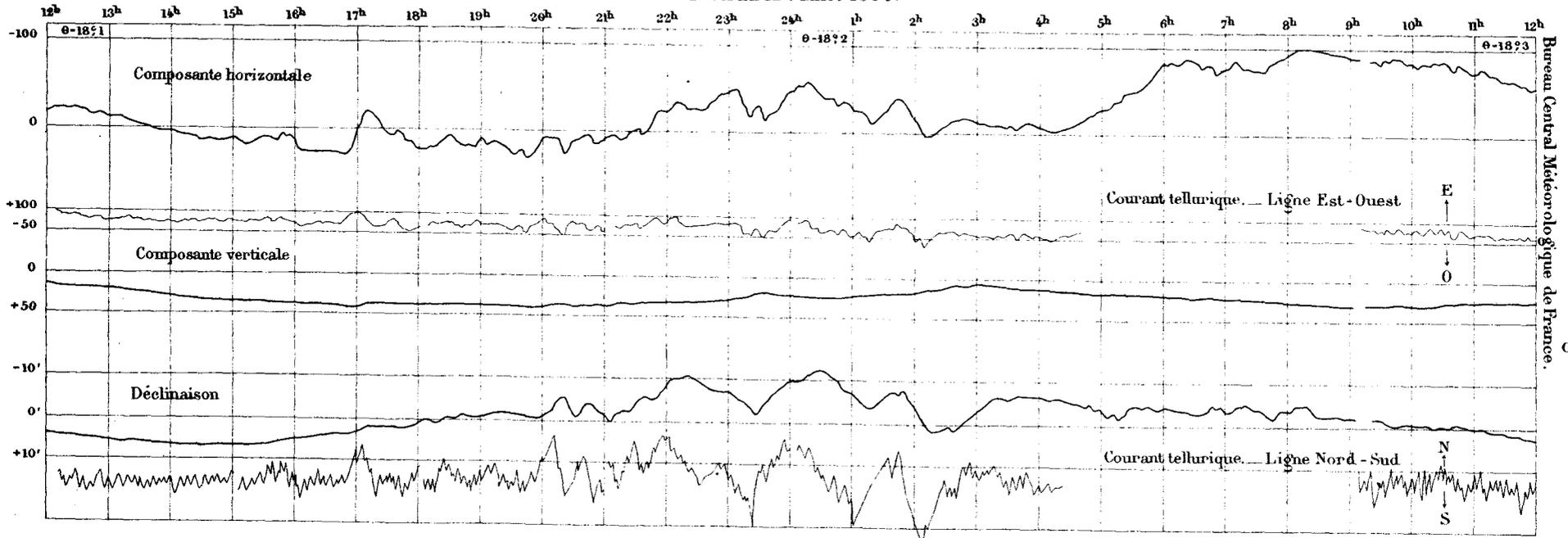
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES

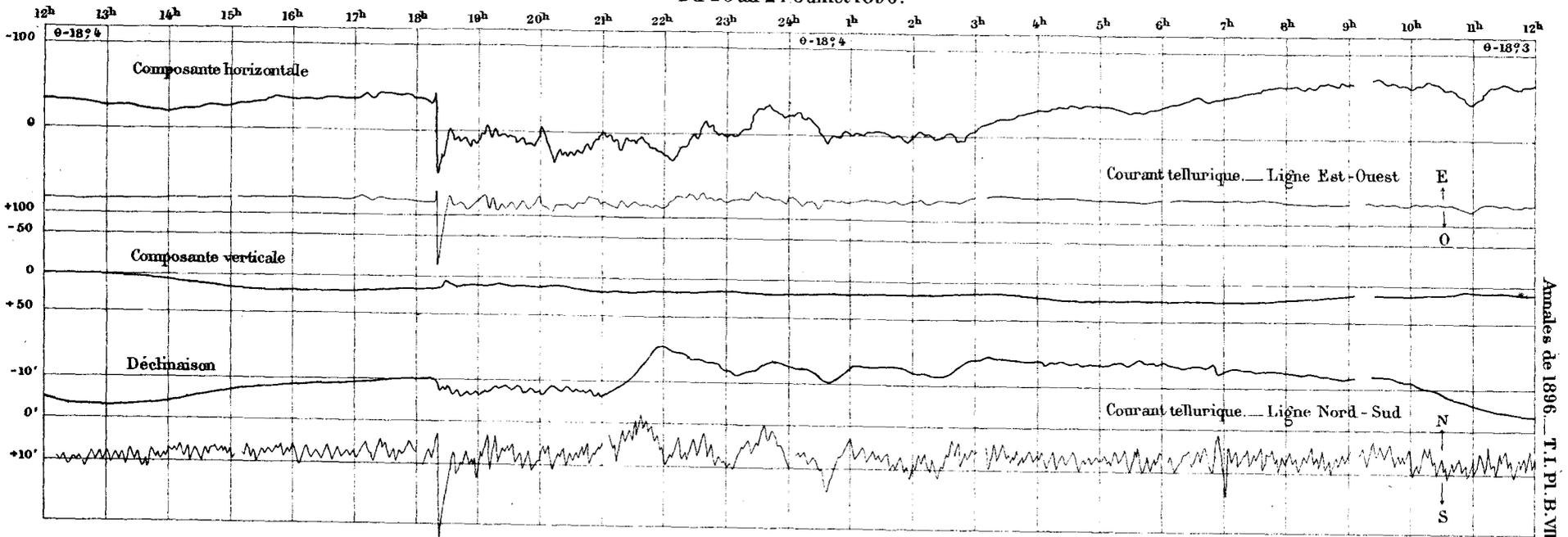
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

Annales de 1896. T. I. Pl. B. VII.

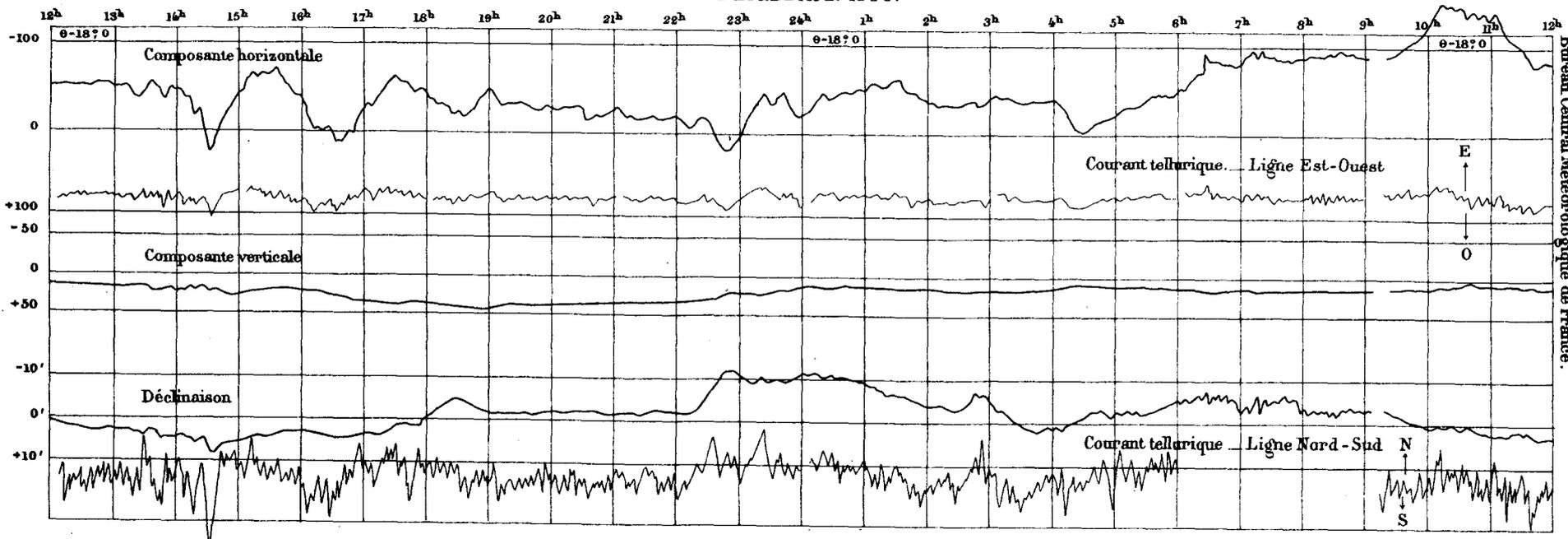
Du 11 au 12 Juillet 1896.



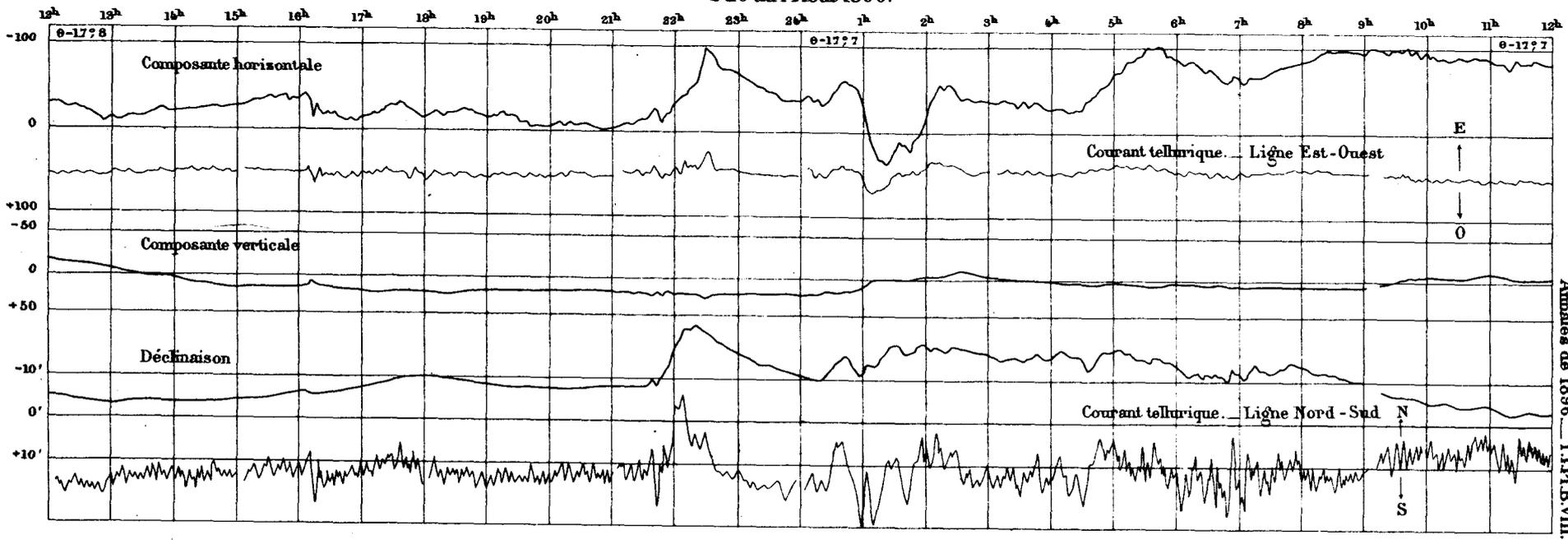
Du 23 au 24 Juillet 1896.



Du 1 an 2 Août 1896.



Du 6 an 7 Août 1896.



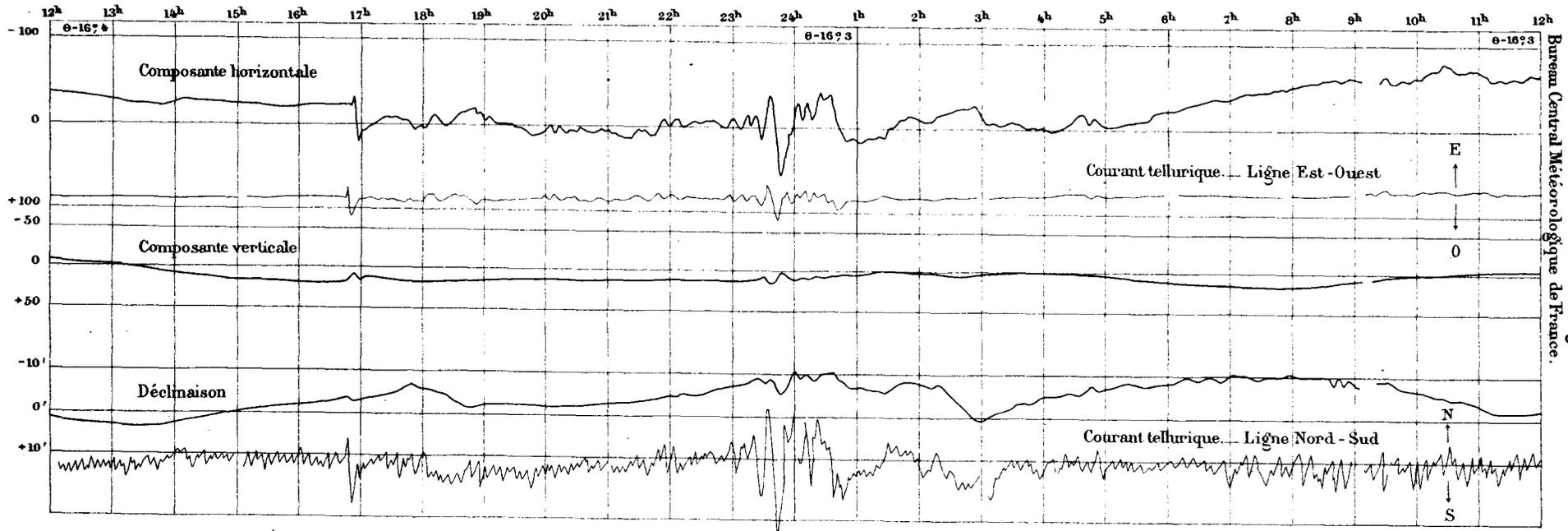
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES

Bureau Central Météorologique de France.

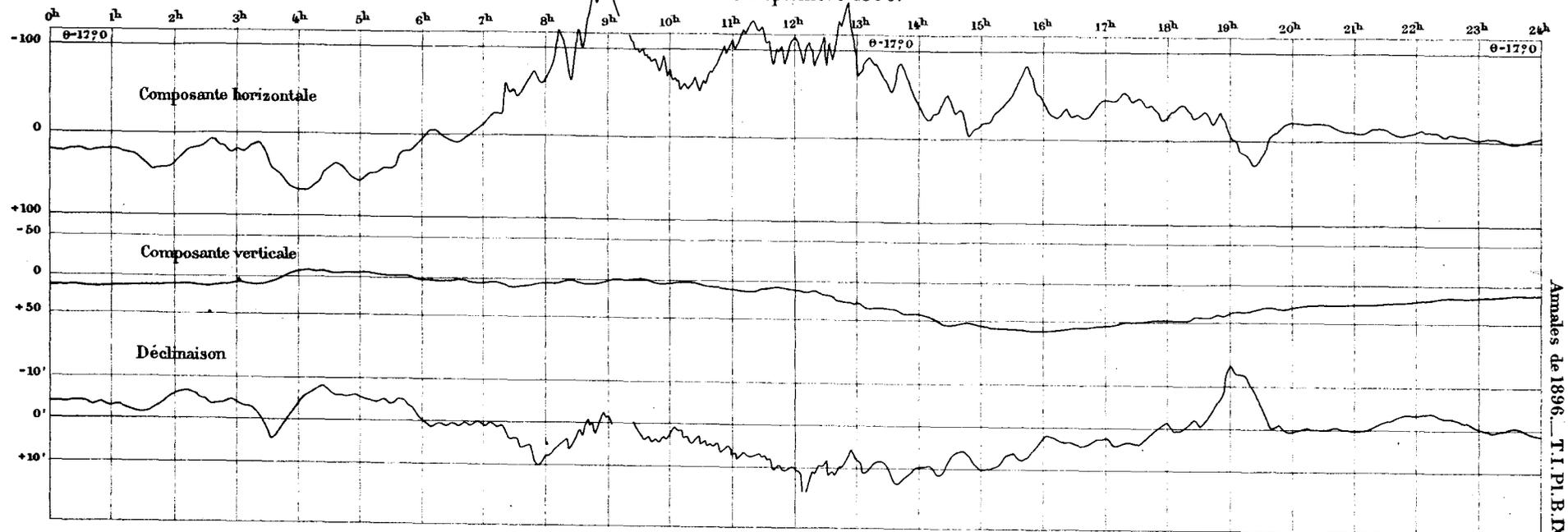
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

Annuaire de 1896. T. LXXVIII.

Du 29 au 30 Août 1896.

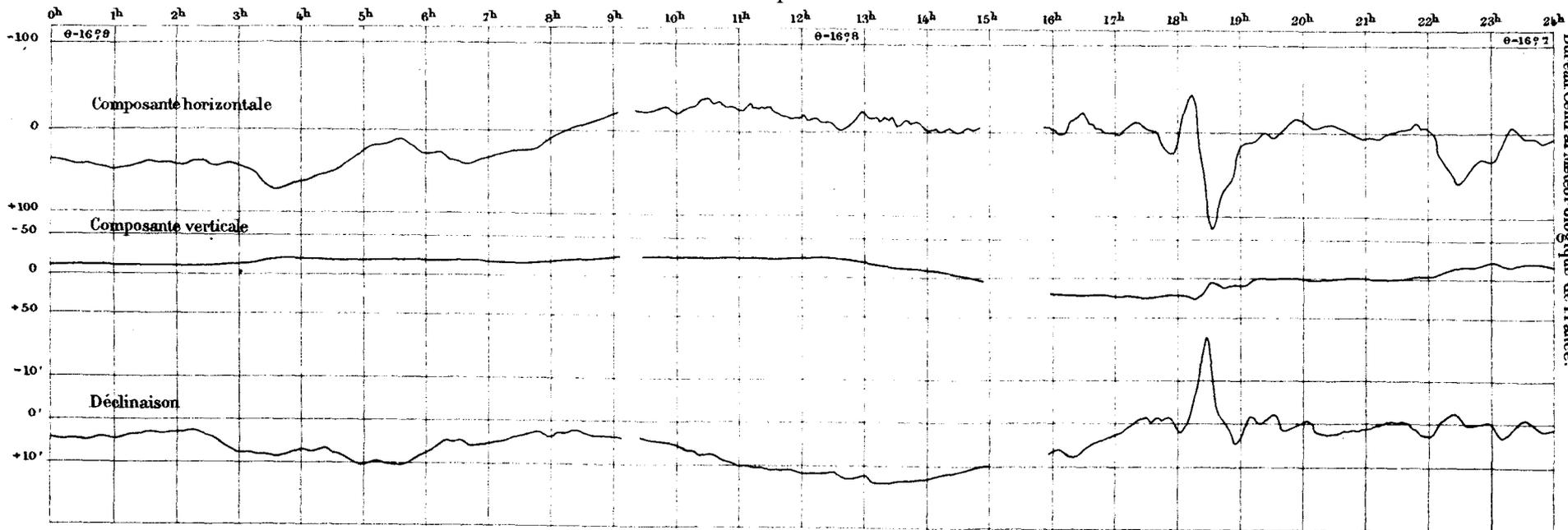


Le 18 Septembre 1896.



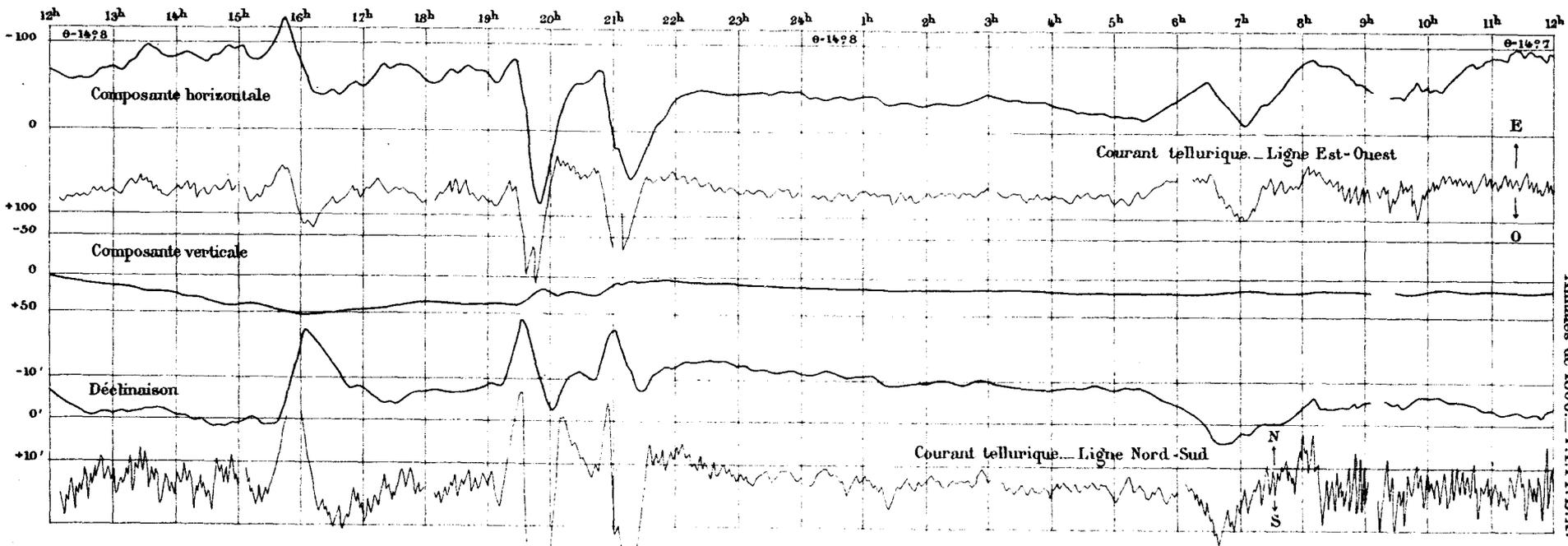
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
 enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

Le 20 Septembre 1896.



Bureau Central Météorologique de France.

Du 11 au 12 Octobre 1896.

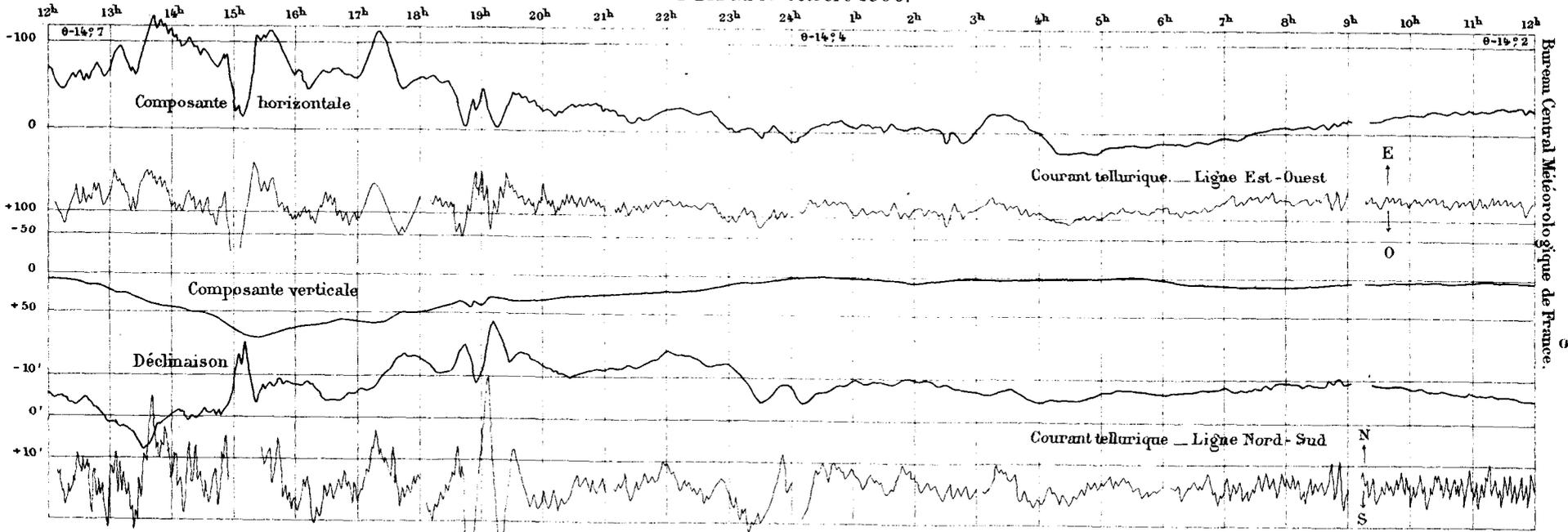


Annales de 1896. T. I. Pl. B. X.

PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

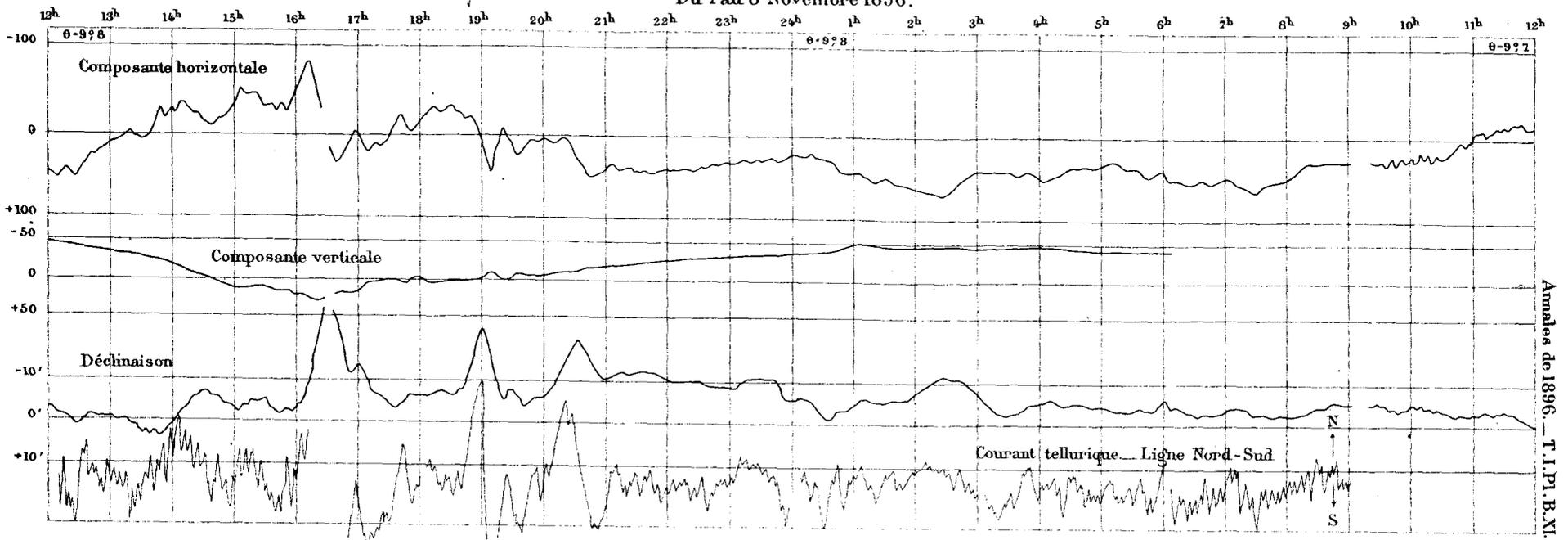
PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
 enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

Du 12 au 13 Octobre 1896.



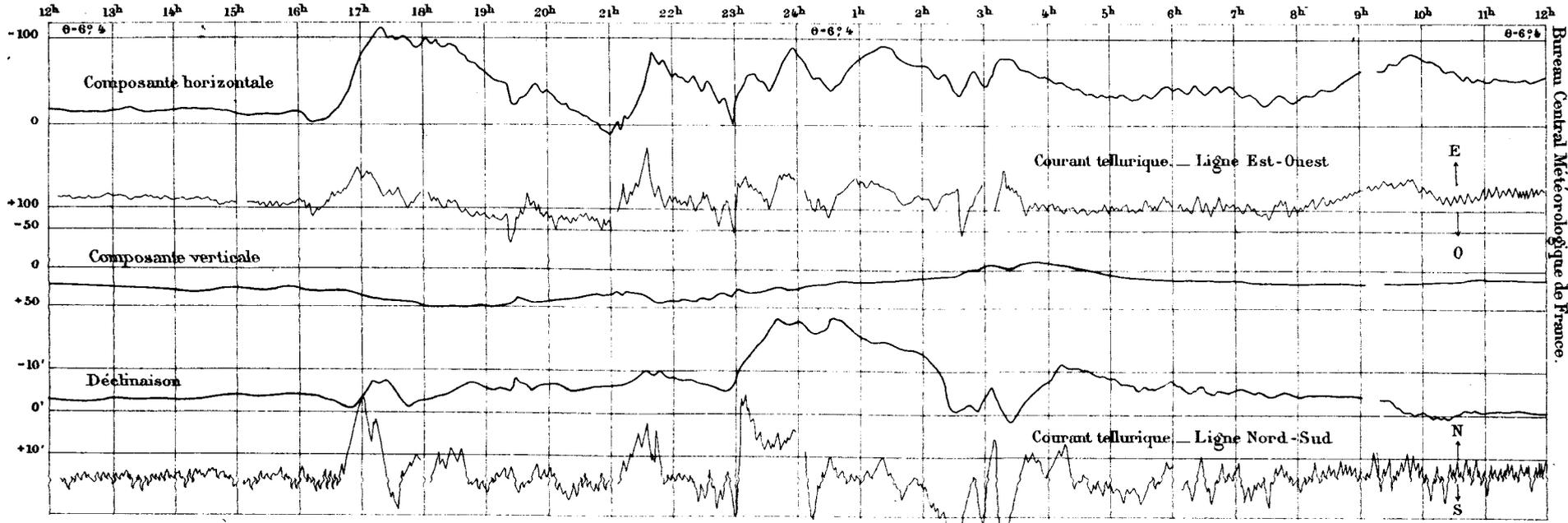
Bureau Central Météorologique de France.

Du 7 au 8 Novembre 1896.



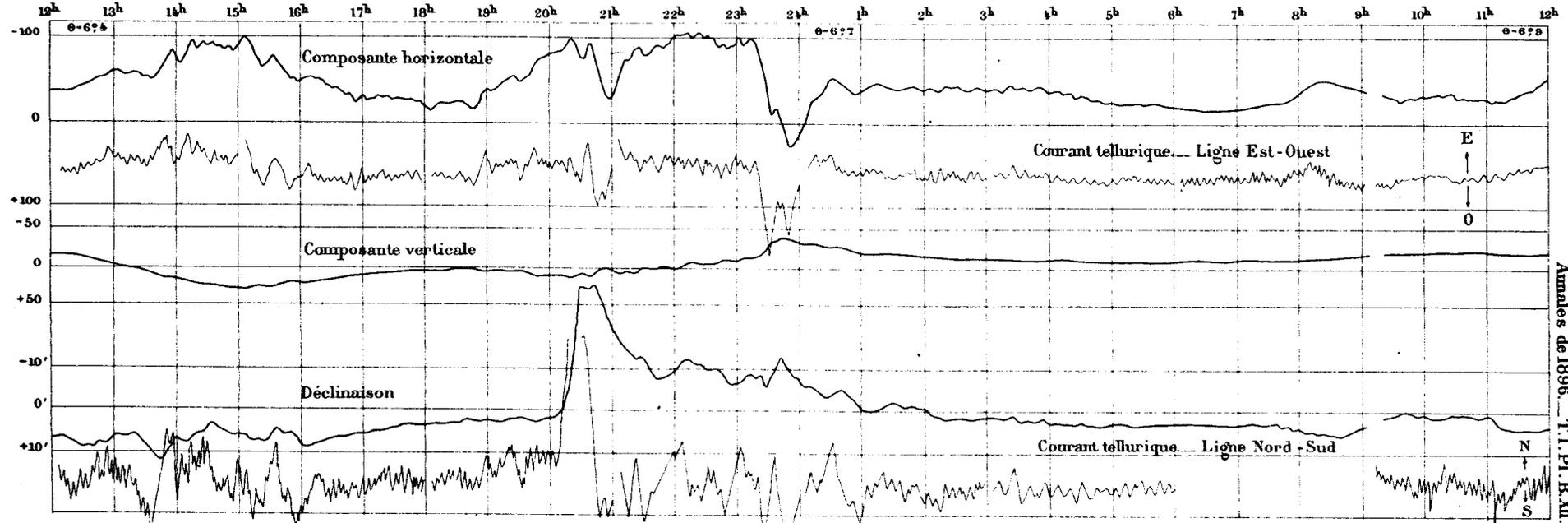
Annales de 1896. - T. I. Pl. B. XI

Du 3 au 4 Décembre 1896.



Bureau Central Météorologique de France.

Du 4 au 5 Décembre 1896.



Annales de 1896. T. I. pl. B. XII.

PRINCIPALES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES
enregistrées à l'Observatoire du Parc Saint-Maur en 1896.

TABLE DES MATIÈRES.

TEXTE.

	Pages.
INTRODUCTION	1
RAPPORT lu, le 22 avril 1897, à la séance générale du Conseil du Bureau central météorologique, par M. BOUQUET DE LA GRYE, Membre de l'Institut, Président du Conseil.	111
MÉMOIRES.	
Résumé des orages en France et de l'état de l'atmosphère pendant l'année 1896, par M. E. FRON.	A. 1
Observations magnétiques faites à l'observatoire du Parc Saint-Maur, pendant l'année 1896, par M. MOUREAUX.	B. 1
Observations magnétiques faites à l'observatoire de Perpignan, pendant l'année 1896, par M. CŒURDEVACHE, sous la direction de M. le Dr FINES.	B. 23
Comparaison des appareils magnétiques de voyage de l'observatoire du Parc Saint-Maur avec ceux de divers observatoires magnétiques étrangers, par M. TH. MOUREAUX.	B. 37
Vents contigus et nuages, par M. M. BRILLOUIN.	B. 45
INTRODUCTION.	B. 45
CHAP. I. — La condensation par mélanges, d'après M. von Bezold.	B. 49
CHAP. II. — Nappes horizontales superposées.	B. 61
CHAP. III. — Atmosphère en équilibre convectif. Subdivision en zones. Exposé géométrique de la théorie d'Helmholtz.	B. 71
CHAP. IV. — Mélange des zones contiguës limpides.	B. 87
CHAP. V. — Mélanges des zones contiguës nuageuses.	B. 98
CHAP. VI. — Zones contiguës occupant toute la hauteur de l'atmosphère. État des régions élevées.	B. 108
CHAP. VII. — Zones contiguës. Envahissements et nuages.	B. 116
CHAP. VIII. — Les deux zones nuageuses. Envahissements et nuages. Pluie et grêle.	B. 126
CHAP. IX. — Instabilités.	B. 133
CHAP. X. — Deux couches de nuages dans la même zone.	B. 138
CHAP. XI. — Circulation générale. Conclusion.	B. 143
La nouvelle Carte du Bulletin international du Bureau central météorologique, par M. A. ANGOT.	B. 151
Sur la formule barométrique, par M. A. ANGOT.	B. 159
Contribution à l'étude des pluies dans la région du haut Nil, par M. E. DE MARTONNE.	B. 197

PLANCHES.

	Planches
Cartes journalières des orages de l'année 1896 (Mémoire de M. Fron).	A. 1 à A. 6
Détail des principaux orages de l'année 1896 (Mémoire de M. Fron).	A. 6 à A. 8
Principales perturbations magnétiques enregistrées à l'observatoire du Parc Saint-Maur en 1896 (Mémoire de M. Mouraux).	B. 1 à B. 12

FIN.

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE.

ANNALES

DU

BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE

DE FRANCE,

PUBLIÉES

PAR E. MASCART,

DIRECTEUR DU BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE.

ANNÉE 1896.

I.

MÉMOIRES.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1898

