

Communications à l'Académie des Sciences de 1895 à 1909

Les travaux de Léon Teisserenc de Bort⁽¹⁾

CRAS 100, 6 avril 1895

Sur l'existence de variations anormales de pression avec la hauteur. Gradient vertical

Dans cette note présentée par Mascart (séance de l'Académie des Sciences du 16 avril 1895), Teisserenc de Bort étudie les écarts entre le gradient barométrique vertical mesuré, par exemple par comparaison entre le Puy-de-Dôme et Clermont-Ferrand, et celui calculé par la formule de Laplace. D'autres mesures ont été faites à différents niveaux de la tour Eiffel.

Il constate que la loi statique de décroissance de pression est rarement satisfaite. Le gradient vertical de pression est dit négatif lorsque la différence des pressions calculée est moindre que celle des pressions observée : la « résultante » des pressions et de la pesanteur est dirigée de bas en haut. Le gradient est dit positif dans le cas contraire et la résultante est dirigée vers le bas.

Il observe que ces gradients de pression ont une variation diurne marquée, qu'elle croît avec la température, et il en donne un tableau des écart tri-horaires à la moyenne pour chaque mois, basés sur les mesures de 1878 à 1884.

CRAS 126, 11 juillet 1898

Résultats sommaires des ascensions de trois ballons-sondes exécutées à Trappes, le 8 juin 1898

Ces ballons ont été réglés de façon à explorer des régions différentes de l'atmosphère.

Le 1^{er} ballon : départ 3 h 30, altitude atteinte 12 500 mètres, température -60° retombé près de Saint-Quentin à 6 h 43.

Le 2^{ème} ballon : lancer 4 h 55, altitude atteinte 9 000 mètres, température -42°,

retombé à 90 km au nord de Trappes.

Le 3^{ème} ballon : lancer 7 h 55, altitude atteinte 6 800 mètres, température -21°, retombé à 500 km au NNW de Trappes. Les courbes tracées par les enregistreurs devaient permettre d'établir la marche des températures à diverses hauteurs à trois périodes de la journée, mais la note ne donne aucune information à ce sujet.

CRAS 126, 7 mars 1899

Sur les ascensions de ballons- sondes du 24 mars

Note de M. Teisserenc de Bort, communiquée par M. Bouquet de la Grye

Le 1^{er} ballon fut lancé de Trappes le 24 mars 1899 à 8 h 30, tombé près de la Trèves ; instruments non encore revenus.

Le 2^{ème} ballon lancé près de Bort, près de Limoge à 9 h 27 ; altitude atteinte 8 600 m, température -44°, tombé à Péroles (Corrèze) à 59 km.

Le 3^{ème} ballon lancé à 3 h 45, muni d'instruments analogues à ceux des deux autres ballons pour voir l'influence du soleil sur les températures indiquées par les enregistreurs : altitude atteinte 8 600 m, température -52°, tombé à Meix-Saint-Epoïn à 120 km de Trappes.

CRAS 129, 131, 10 juillet 1899

Sur les ascensions dans l'atmosphère d'enregistreurs météorologiques portés par les cerfs-volants

Note de M. Teisserenc de Bort présentée par M. Mascart le 10 juillet 1899

Se référant à des expériences réalisées depuis quelques années aux États-Unis

1 - Il ne s'agit ici que des campagnes de mesures effectuées à partir de bases terrestres.

et utilisant des cerfs-volants équipés d'enregistreurs, Teisserenc de Bort informe l'Académie des Sciences des résultats d'expériences analogues faites à Trappes depuis l'automne 1897 et en 1898, pendant moins de 100 journées en tout.

L'altitude maximale atteinte en 1899 fut de 3 590 m, avec des cerfs-volants de modèle cellulaire Hargrave.

Ces expériences ont montré que dans les périodes de hautes pressions, la décroissance de la température avec l'altitude se ralentit et peut même présenter des inversions, alors qu'en période dépressionnaire cette décroissance est plus rapide et atteint celle donnée par la détente adiabatique de l'air plus ou moins humide.

Les vents diminuent avec l'altitude dans le premier cas, augmentent dans le second, avec renforcement dans la couche des nuages inférieurs.

CRAS 129, 21 juillet 1899

Sur la température et ses variations dans l'atmosphère libre, d'après les observations de 90 ballons-sondes

Note de M. Teisserenc de Bort, présentée par M. Mascart le 21 août 1899

Les lancers de ballons-sondes, inaugurés en 1894 par des aéronautes français, permettent d'explorer l'atmosphère quel que soit le temps.

Les lancers utiles ont commencé en 1898 et ont permis de recueillir une documentation sans précédent (7 ont dépassé 14 000 m ; 24 13 000 m ; 53 9 000 m). De ces observations et mesures rassemblées en un graphique représentant les hauteurs de certaines isothermes à diverses dates, il apparaît que ces hauteurs présentent des variations considérables (isotherme 0° entre le sol et 4 000 m, -25° entre 3 000 et 7 000 m etc), qu'il existe une

variation annuelle à tendance marquée, et que les écarts à la moyenne ne varient pas beaucoup avec l'altitude jusque vers 9 000 m.

Variation saisonnière de la température à diverses hauteurs dans l'atmosphère libre

Note de M. Teisserenc de Bort, présentée par M. Mascart le 26 novembre 1900.

Le dépouillement de plus de 240 ascensions de ballons-sondes réalisées en 1898, 1899 et 1900 montrent que :

1 - La température dans l'atmosphère éprouve une variation sensible au moins jusqu'à 10 000 m.

2 - L'amplitude de la variation de la température suivant la saison diminue lorsque la hauteur augmente.

Ces résultats diffèrent de l'opinion admise jusque-là. Cela tient à ce qu'on ne possédait que quelques observations isolées de la température à de grande hauteurs.

Diverses conclusions sont tirées de tableaux et de graphiques donnant les altitudes moyennes de certaines isothermes au cours de l'année. Par exemple l'auteur attire l'attention sur la température basse du mois de mai, au sol et en altitude « à l'époque du refroidissement bien connu sous le nom de froid des saints de glace ».

Étude des variations journalières des éléments météorologiques dans l'atmosphère

Note de M. Teisserenc de Bort présentée par M. Mascart le 27 janvier 1902.

Il s'agit d'un assez long commentaire sur un graphique représentant les variations d'altitude des isothermes au-dessus de la région parisienne du 27 janvier au 1^{er} mars 1901, en liaison avec le passage des perturbations.

CRAS 134, 28 avril 1902

Communication présentée le 28 avril 1902 à l'Académie des Sciences.

Physique du globe - Variations de la température de l'air libre dans la zone comprise en 8 km et 13 km d'altitude.

Note de M. Léon Teisserenc de Bort, présentée par M. E. Mascart

« J'ai l'honneur de communiquer à l'Académie les résultats de la discussion des observations rapportées par 236 ballons-sondes lancés de l'obser-

vatoire de Météorologie Dynamique et ayant dépassé l'altitude de 11 km, sur lesquels 74 ont atteint 14 km. Ces documents portent sur plusieurs années et sont répartis sur les diverses saisons.

« Ces observations, permettant d'étudier pour la première fois la température dans la zone comprise au-dessus de 10 km, mettent en lumière des faits nouveaux et imprévus dont le plus saillant est le suivant :

1 - Alors qu'en moyenne la décroissance de température avec la hauteur augmente à partir des couches basses, et atteint dans les régions déjà explorées une valeur assez voisine de celle qui correspond aux variations adiabatiques de l'air sec, cette décroissance, au lieu de se maintenir à mesure que l'on s'élève, comme on l'avait supposé, passe par un maximum, puis diminue rapidement, pour devenir à peu près nulle à une altitude qui est, en moyenne, dans nos régions, de 11 km.

2 - À partir d'une hauteur variable avec la situation atmosphérique (de 8 km à 12 km), commence une zone caractérisée par la très faible décroissance de température ou même par une croissance légère avec des alternatives de refroidissement et d'échauffement. Nous ne pouvons préciser l'épaisseur de cette zone ; mais, d'après les observations actuelles, elle paraît atteindre au moins plusieurs kilomètres.

C'est là un fait ignoré jusqu'ici et qui mérite d'être pris en très sérieuse considération dans l'étude de la circulation générale.

Nous n'avons pas tardé à reconnaître que les ascensions dans lesquelles la température cesse de décroître à une hauteur de 8 km à 9 km se rapportent aux périodes troublées avec dépressions barométriques, et qu'au contraire les situations à hautes pressions se caractérisent par une élévation du point où la température tend à devenir uniforme.

Comme ce résultat était absolument nouveau et contraire aux prévisions théoriques j'ai voulu multiplier les expériences et annuler autant que possible les causes d'erreur avant d'en entretenir l'Académie ».

Le prix Houlléviq est décerné à M. Teisserenc de Bort pour ses recherches sur l'état de l'atmosphère aux grandes altitudes au moyen des cerfs-volants et des ballons-sondes (séance du 22 décembre 1902).



Sur la décroissance de la température avec la hauteur dans la région de Paris d'après cinq années d'observations

Note de M. Teisserenc de Bort présentée par M. Mascart le 4 janvier 1904.

Le tableau de la décroissance moyenne par saison permet de tirer les conclusions suivantes :

- Faiblesse de cette décroissance dans les basses couches due aux inversions ou à la condensation.

- Décroissance quasi-adiabatique entre 6 et 10 ou 11 km (inversions rares, hygrométrie faible).

- À partir de 11 km la température cesse de décroître « phénomène tout à fait imprévu et dont la cause est encore fort obscure ».

CRAS 138, 27 juin 1904

Observations de la station franco-scandinave de sondages aériens à Hald.

Note de Teisserenc de Bort présentée par M. Mascart le 27 juin 1904.

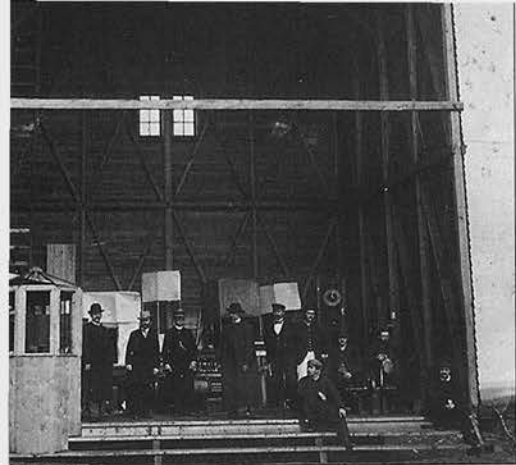
Ces observations ont été faites de juillet 1902 à mai 1903, à l'aide de cerfs-volants, près de Viborg (Danemark).

Les températures et les vents ont montré une grande variabilité en altitude, à la fois dans le temps et dans l'espace.

Variation de la température quotidienne dans la haute atmosphère

Note de M. Teisserenc de Bort présentée par M. Mascart le 13 février 1905

Après trois années d'observations pratiquées en toutes saisons par séries quotidiennes de 8 à 10 jours consécutifs,



on constate que les courbes des sondages présentent des allures analogues :
- dans la partie inférieure (du sol à 2 ou 3 km d'altitude) on observe de nombreuses irrégularités et des inversions ;
- dans la partie moyenne (de 3 à 9 ou 10 km) les courbes, si on les rapproche, sont plus ou moins parallèles ;
- en arrivant à la zone dite isotherme, on observe l'arrêt à peu près complet de la décroissance des températures, arrêt brusque en général et se produisant à des hauteurs variables.

- « Je n'ai pas besoin d'insister sur l'étrangeté de ces résultats si on les juge avec les idées reçues jusque dans ces dernières années, mais ces phénomènes paraissent moins extraordinaires si l'on suppose que la zone où la température cesse de descendre forme la limite de la partie de l'atmosphère où les mouvements à composante verticale intenses se produisent. ... Ainsi ! nous observons que les températures les plus froides se placent justement là où les mouvements ascendants atteignent les couches les plus élevées et que la zone isotherme se rapproche du sol dans les régions où l'air supérieur n'est pas manifestement animé de mouvements à grandes composantes verticales ».

Vérification des altitudes barométriques par la visée directe des ballons-sondes

Note de M. Teisserenc de Bort présentée par M. Mascart le 10 mai 1905.
Il s'agissait de vérifier la concordance entre les altitudes calculées par le baromètre et celles déterminées par triangulation.

La concordance entre les 2 déterminations est d'environ 2 % de l'altitude maximale atteinte par le ballon. Les différences peuvent être attribuées surtout aux imperfections de l'organe barométrique (élasticité imparfaite de la boîte métallique d'altitudes, trop faibles à la montée et trop fortes à la descente). Avec certaines coquilles barométriques, sans doute influencées par l'abaissement de température, l'erreur croît avec l'altitude. Des méthodes pour déterminer la bonne marche des coquilles dans les

conditions des ascensions seront données ultérieurement.

Caractère de la circulation atmosphérique intertropicale

Note de MM. Roch et Teisserenc de Bort, présentée par M. Mascart le 8 avril 1907.

Les alizés de nord à est ne s'étendent que sur une altitude de quelques centaines de mètres. Dans cette couche, explorée par ballons et cerfs-volants la décroissance des températures est très rapide.

Au-dessus le vent diminue et la température peut présenter une inversion vers 1 000 m.

Puis viennent des vents de direction variable ; au-dessus on trouve des vent à composante sud formant le contre-alizé. On les trouve vers 2 000 m à l'équateur et 2 500 m au tropique du Cancer.

Sur la distribution de la température sous le cercle polaire nord et à Trappes

Note de M. Teisserenc de Bort présentée par M. Mascart le 8 juillet 1907.

Des sondages simultanés ont été réalisés en mars 1907 à Kiruna et à Trappes. Les altitudes atteintes par les huit ballons de Kiruna retrouvés sont comprises entre 14 000 et 20 000 m.

Les températures aux hautes altitudes sont peu différentes dans ces deux stations. La zone dite isotherme se retrouve sous le cercle polaire ainsi que la légère hausse de température, juste au-dessous, découverte par Assmann. Comme à nos latitudes, l'altitude de la zone isotherme peut varier de plusieurs milliers de mètres à Kiruna. Les tourbillons cycloniques ou anticycloniques ne s'élèvent pas au-dessus de la base de la zone isotherme. Celle-ci semble présenter une structure feuilletée.

Recherche sur la présence de gaz rares dans l'atmosphère à diverses hauteurs

Note de M. Teisserenc de Bort, présentée par M. Mascart le 20 juillet 1908.

L'intérêt de la recherche de l'argon, du néon et de l'hélium réside dans le fait que la haute atmosphère (zone isotherme) présente une structure feuilletée, contrairement aux basses couches soumises au brassage de l'air.

Dans les échantillons prélevés, les gaz rares ont été recherchés par spectroscopie. L'hélium n'est plus décelable au-dessus de 10 km environ, contrairement

au néon, décelable à toutes les altitudes. « Ce résultat semble justifier l'identification de plusieurs des raies observées dans le spectre des aurores boréales avec celles du néon... ».

Lois de distribution de la température avec la hauteur aux diverses latitudes, et suivant des régimes météorologiques différents

Note de M. Teisserenc de Bort, présentée par M. Violle, le 1.3.1909.

La température cesse de décroître à partir de 11 km en moyenne. Cette isothermie est précédée d'une couche d'inversion, dite couche chaude, de 3 à 6 km d'épaisseur, et dans laquelle le réchauffement est voisin de 6 °.

Les ascensions de ballons montrent qu'au-dessus de la couche chaude la température demeure à peu près constante, bien que certaines ascensions semblent avoir dépassé 27 000 m, altitude à laquelle la température devrait être d'environ -170 ° au lieu de -60 ° observés.

Sur l'Atlantique (Hergesell), la couche isotherme est rencontrée vers 13 km aux Açores et 15 km au tropique. Près de l'équateur, elle doit être encore plus haute car aucun des ballons n'a pu l'atteindre.

La hauteur de la couche isotherme augmente au fur et à mesure qu'on s'approche de l'équateur : l'« épaisseur atmosphérique » augmente vers les tropiques.

L'arrêt de la décroissance de la température à une certaine hauteur est un phénomène absolument général : « c'est une des caractéristiques les plus marquées de la physique de l'atmosphère, et... une des plus inattendues dont la démonstration a été faite ces dernières années ».

Mille deux cents ascensions réparties sur dix ans permettent d'établir de véritables lois de la répartition verticale de la température en relation avec la situation météorologique :

- altitude de la zone isotherme plus élevée dans les maxima barométriques que dans les aires de basses pressions ;
- l'altitude la plus grande est atteinte à l'avant des grandes dépressions barométriques. Elle est plus basse de 3 000 à 4 000 m à l'arrière, et encore plus basse dans les couloirs dépressionnaires.

◆ Yves Agnoux