



HAL
open science

Étude de l'atmosphère dans la verticale par cerfs-volants et ballons-sondes

Léon Teisserenc de Bort

► **To cite this version:**

Léon Teisserenc de Bort. Étude de l'atmosphère dans la verticale par cerfs-volants et ballons-sondes. J. Phys. Theor. Appl., 1900, 9 (1), pp.129-137. 10.1051/jphystap:019000090012900 . jpa-00240428

HAL Id: jpa-00240428

<https://hal.science/jpa-00240428>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**ÉTUDE DE L'ATMOSPHÈRE DANS LA VERTCALE PAR CERFS-VOLANTS
ET BALLONS-SONDES;**

Par M. LÉON TEISSERENC DE BORT.

L'étude de l'atmosphère, qui a fait de très grands progrès, grâce aux observations recueillies dans presque toutes les régions du globe, a, pendant longtemps, été très incomplète, parce qu'on n'a pu pénétrer directement que dans les couches inférieures.

L'observation et la mesure systématiques des mouvements des nuages, si heureusement préconisées par M. Hildebrandsson, et la création de nombreux observatoires de montagnes ont permis de commencer à analyser ce qui se passe dans le sein de l'atmosphère; mais l'impossibilité où l'on est, dans bien des cas, d'observer le mouvement des nuages élevés, l'influence du sol, d'autre part, dans les stations de montagne, rendent encore bien précaires ces moyens d'informations. Les ascensions scientifiques faites en divers pays ont certainement donné des renseignements précieux; mais là encore on avait à craindre l'erreur systématique venant de ce que l'on choisit d'ordinaire, pour monter en ballon, des situations où l'atmosphère n'est pas assez troublée pour mettre en péril grave la vie des aéronautes. Aussi est-ce avec un grand enthousiasme que tous ceux qui s'intéressent à la météorologie ont accueilli les premières tentatives faites aux États-Unis pour explorer l'atmosphère à l'aide de cerfs-volants et celles qui ont été faites en France par M. le colonel Renard et par MM. Hermite et Besançon pour porter dans les hautes couches de l'air les instruments enregistreurs en les confiant à des ballons libres dits « sondes aériennes » ou « ballons-sondes ».

Dans l'intervalle de moins de cinq années, grâce à des perfectionnements successifs, on arrivait ainsi, d'une part, à Blue Hill, sous la direction de mon ami M. Laurence Rotch, à atteindre 3.685 mètres, en août 1898, et 3.802 mètres, le 28 février 1899, par l'emploi des cerfs-volants, et, en France, à dépasser 15.500 mètres dans l'ascension du ballon *l'Aérophile* du 13 mai 1897.

La météorologie était ainsi dotée de deux nouveaux moyens de recherches très précieux, se complétant l'un l'autre. De la phase des tâtonnements on est arrivé à celle où l'on peut s'attacher à rapporter

par ces lancers des documents précis, et non plus seulement s'occuper du succès matériel des procédés techniques.

Nous allons passer rapidement en revue les moyens employés pour arriver à ce résultat et élever nos instruments presque à coup sûr au sein de l'atmosphère libre.

L'emploi du cerf-volant pour un usage scientifique remonte à Franklin, qui, dès 1748, employa cet appareil pour étudier l'électricité des nuages orageux. A peu près à la même époque, Wilson, professeur d'astronomie à Glasgow, fit porter en l'air par plusieurs cerfs-volants, attelés à une même ficelle, un thermomètre qui était entouré d'épais bourrelets de papier; un déclenchement par une ficelle auxiliaire permettait de faire tomber sans le briser ce thermomètre sur le sol où on en faisait la lecture.

En 1822, à l'île d'Igalik, dans l'Amérique du Nord, le capitaine Pary et le R. Georges Fisher lancèrent un cerf-volant porteur d'un thermomètre à maxima et à minima. Dans ces dernières années, en 1883, M. Archibald fit en Angleterre une série d'expériences sur la vitesse du vent au-dessus du sol, en enlevant, jusqu'à une hauteur de 700 à 800 mètres, un anémomètre enregistreur. Dans ces dernières expériences, comme d'ailleurs dans d'autres faites en Amérique vers 1837, on employait un fil métallique pour retenir le cerf-volant.

Les travaux faits dans les huit dernières années par M. Eddy de Bayonne (États-Unis) et par M. Hargrave de Sydney ont amené un progrès absolument capital dans la construction du cerf-volant. Les types auxquels ils sont arrivés se maintiennent parfaitement stables dans l'air sans l'adjonction d'aucune espèce de queue ou de chevelure. Le cerf-volant d'Eddy n'est qu'un perfectionnement du cerf-volant Malais; car ces derniers, ainsi d'ailleurs que les Chinois, savent depuis très longtemps faire des cerfs-volants de formes assez variées sans queue; il est vrai que ce sont des cerfs-volants de papier très léger. Le cerf-volant Eddy [*fig. 1 (2)*] est un cerf-volant en forme de losange dont deux des côtés forment entre eux un angle très obtus, de façon que ce cerf-volant a grossièrement la forme d'un triangle. Il se rapproche donc beaucoup de la plupart des cerfs-volants employés par les enfants; mais, au lieu d'être plat, il se compose de deux plans qui se coupent suivant une des diagonales du losange. Ce cerf-volant a été employé avec assez de succès en Amérique; il est très léger; mais il offre l'inconvénient de n'être pas très stable et de ne fonctionner convenablement que lorsqu'il est parfaitement

équilibré et que les surfaces inclinées ne présentent aucune dissymétrie. Il a donc été abandonné par la plupart des expérimentateurs et remplacé par le cerf-volant cellulaire Hargrave.

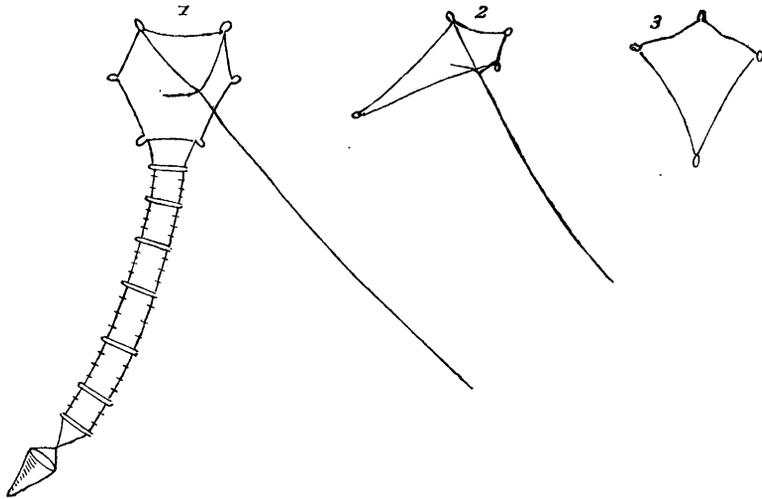


Fig. 1. — (1), cerf-volant avec queue employé en 1897, à Trappes ; — (2), cerf-volant Eddy, vu de trois quarts ; — (3), vu de face.

Ce dernier est une sorte de tube rectangulaire, dont l'enveloppe est formée de toile légère avec une solution de continuité dans la partie centrale du tube, où il n'existe que la monture; deux brides, qui s'attachent soit à deux des montants verticaux à droite et à gauche, soit à un montant central, permettent de relier le cerf-volant à sa corde. L'action du vent sur ces cerfs-volants est tout à fait analogue à ce qu'elle est sur les cerfs-volants usuels; mais la différence essentielle réside dans la présence des plans verticaux formés par les côtés du tube qui servent à maintenir le cerf-volant dans le lit du vent et remplacent ainsi avec avantage la queue des cerfs-volants ordinaires. Ainsi gréé et rattaché à une ficelle ou à un petit fil d'acier de 150 ou 200 mètres de longueur, ce cerf-volant s'élève par un vent moyen, c'est-à-dire ayant au moins 7 mètres par seconde, à une hauteur angulaire de 50° à 55° au-dessus de l'horizon.

Un cerf-volant Hargrave de $2^m,40$ de surface exerce par un vent de ce genre une traction de 6 à 8 kilogrammes; il peut donc porter un enregistreur du poids de 1.500 grammes et plusieurs centaines de

mètres de ficelle ou mieux de fil d'acier dit « corde de piano », qu'on a substitué aux cordages végétaux, comme beaucoup plus résistant et offrant une surface bien moindre à l'action du vent.

Ordinairement, pour plus de sécurité, on relie à la ligne principale deux cerfs-volants attelés en tandem, et on met ensuite l'enregistreur suspendu à quelques mètres au-dessous de la ligne principale (fig. 2).

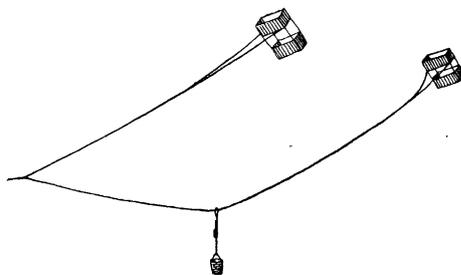


FIG. 2.

On dévide alors la bobine sur laquelle est enroulé le fil jusqu'au moment où la direction du fil d'acier ne fait plus, au départ du treuil, qu'un angle voisin de 30° avec l'horizon. A ce moment, il est nécessaire d'attacher à la ligne principale un nouveau cerf-volant. On continue à procéder ainsi jusqu'à ce que la tension du fil risque d'en amener la rupture, c'est-à-dire que, pour les fils employés ordinairement, qui ont $0^m,82$ de diamètre et se rompent aux environs de 120 kilogrammes, on ne doit pas dépasser 70 kilogrammes de traction, la moindre augmentation de la force du vent pouvant déterminer un accroissement de traction très notable.

Le treuil sur lequel s'enroule le fil d'acier comprend, comme organe essentiel, une grosse bobine qui porte le fil mû par des manivelles, un frein qui permet de modérer ou d'arrêter le mouvement de la bobine quand elle tourne sous l'action des cerfs-volants, un dynamomètre qui mesure la tension du fil. Comme la direction du fil change dans l'espace, on fait passer le fil, dès son arrivée au treuil, sur une poulie à axe horizontal montée elle-même autour d'un axe vertical placé tangentiellement, de façon que la poulie peut s'orienter dans tous les azimuts.

A Trappes, nous avons rendu mobile le treuil lui-même en le plaçant sur une plaque tournante. Cette disposition permet d'orienter

l'appareil suivant les différents vents ; la plate-forme mobile porte une guérite qui abrite de la pluie le treuil et la personne qui le conduit.

Pour ramener les cerfs-volants dans le treuil de campagne, on agit directement à bras à l'aide d'une ou plusieurs manivelles ; mais ce travail est très laborieux, puisque, dans une ascension qui atteint 1.000 mètres, on peut avoir à dépenser 120.000 kilogrammètres pour ramener les cerfs-volants au sol. On est donc amené à employer un moteur pour ce genre de travail. A Blue-Hill, on a adapté au treuil un petit moteur à vapeur de 2 chevaux. A Trappes, où nous avons une force motrice fixe, nous avons mis à contribution l'électricité pour mouvoir notre treuil. Une dynamo de 3 chevaux, qui reçoit le courant d'une génératrice placée à quelque distance, actionne le treuil. Cette disposition, bien qu'il y ait certainement beaucoup de force perdue par les transformations d'énergie successives, offre de tels avantages au point de vue de la conduite du treuil que je n'hésite pas à la recommander à tous les établissements qui ont la force électrique à leur disposition. On peut, en effet, régler très exactement par ce moyen la vitesse de rotation du treuil et la faire varier, si c'est nécessaire, de façon que jamais l'augmentation de pression exercée sur les cerfs-volants par les mouvements de rappel au sol ne risque d'amener la rupture de la ligne ; c'est là un point très important, qui ne saurait échapper à personne, lorsque l'on considère que, par des vents forts, le moindre déplacement relatif du cerf-volant dans le sens opposé au vent a pour effet d'augmenter sensiblement la pression, de façon que tout à-coup brusque d'une machine agissant sur le treuil amènerait la rupture de la ligne.

Depuis quatre ans que les sondages par cerfs-volants sont exécutés, ils ont conduit, en Amérique, à une conclusion très intéressante, à savoir que, dans bien des cas, les variations de température qui se font sentir au niveau du sol sont accusées par les cerfs-volants de six à douze heures avant de nous atteindre. On voit donc le parti que la prévision du temps peut tirer de ces observations. Elles montrent aussi que la variation diurne de la température disparaît à peu près complètement à un millier de mètres.

Nous avons fait, depuis l'automne de 1897, plus de cent cinquante ascensions par cerfs-volants à l'observatoire de Trappes, bien que les circonstances atmosphériques soient moins favorables que sur la côte américaine.

Ces observations mettent bien en lumière l'importance des inversions de température dans la verticale dès que le régime cyclonique a cessé; c'est au point que l'existence d'une décroissance de tempé-

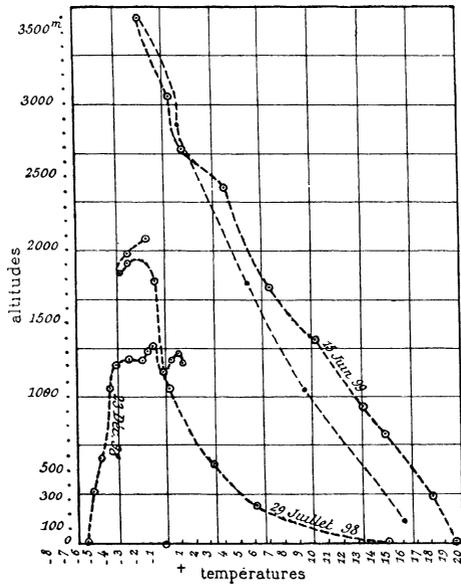


FIG. 3.

rature, très faible dans les 1.200 premiers mètres, indique à peu près sûrement du beau temps pour le lendemain. Les courbes ci-jointes (*fig. 3*) se rapportent, l'une (23 décembre 1898) à un jour où il y a inversion de température, l'autre (29 juillet 1898) à un régime cyclonique avec décroissance de température rapide.

La courbe du 15 juin est une courbe par pression barométrique moyenne et beau temps.

Pour nous comme pour les Américains, les ascensions sont devenues de plus en plus hautes, à mesure que notre matériel s'améliorait et que nous savions mieux conduire le lancé.

Le voisinage de plusieurs lignes de chemins de fer et d'un réseau télégraphique assez serré nous a empêché, dans bien des cas, de développer de longues lignes de fil, la moindre avarie faisant porter notre ligne sur la voie du chemin de fer. Cependant, dès la première année, nous avons atteint la hauteur de 2.000 mètres, puis de 2.500, 3.850 mètres, altitude qui dépasse déjà celle qui a été obtenue en

Amérique, à Blue Hill. Enfin, en septembre dernier, nous avons pu élever nos instruments à l'altitude de 4.300 mètres.

Quel que soit le succès du cerf-volant, l'altitude atteinte par les cerfs-volants est forcément limitée. De plus, ils ne peuvent s'élever par les temps calmes ; il faut donc recourir à l'emploi des ballons pour explorer l'atmosphère d'une façon plus complète. J'ai rappelé, en commençant, le rôle prépondérant de la science française dans cette question. Les ascensions des *Aérophiles* de MM. Hermite et Besançon ont montré : 1° que la température était bien plus basse qu'on ne le supposait, d'après les observations de montagne, puisqu'ils ont trouvé une température de -60° à une altitude inférieure à 14.000 mètres ;

2° Elles ont fait voir aussi que le gaz de l'intérieur du ballon se refroidissait très rapidement à la montée, de façon à se rapprocher de la température théorique obtenue par la détente du gaz pour la même différence de pression. Ce fait, négligé jusqu'à présent, parce qu'il est masqué d'ordinaire par la forte hausse de température qui se produit quand le ballon est soumis à l'insolation, a une importance pratique assez grande, et on doit en tenir compte dans le calcul de la hauteur que peut atteindre un ballon partant de nuit ;

3° Ces ascensions ont amené M. Hermite à créer le genre d'abri appelé « parasoleil », qui est certainement ce qu'on a trouvé de mieux jusqu'ici pour abriter les instruments contre la radiation solaire. Ce parasoleil consiste en un tube de papier noirci intérieurement et recouvert extérieurement de papier d'étain de façon à s'échauffer le moins possible sous l'action du soleil direct.

Depuis la Conférence météorologique de Paris, une entente internationale a eu lieu et, à certaines époques choisies, on a lancé des ballons-sondes de Paris, Berlin, Strasbourg, Vienne, Munich, Saint-Petersbourg. Ces ascensions, au nombre de six, ont été encore trop peu nombreuses pour amener la découverte de lois bien précises, mais ont permis d'étudier les méthodes et d'éclaircir quelques points de détail.

En présence de la diversité des situations atmosphériques et de la rapidité avec laquelle les phénomènes se transforment d'un jour à l'autre, j'ai pensé qu'il était nécessaire de procéder à des sondages aériens très répétés, ayant lieu au besoin plusieurs fois par semaine et, pour cela, nous avons d'abord porté notre attention sur les moyens de rendre plus simples et moins coûteux les lancements de ballons-sondes.

Nous avons obtenu ce résultat en employant l'hydrogène pur, qui

permet de diminuer beaucoup le diamètre des ballons et en allégeant autant que possible le poids des instruments emportés sans nuire à leur précision.

Pour pouvoir faire partir ces ballons même avec des vents violents, car les temps de tempête, qui n'ont presque jamais été étudiés, offrent le plus grand intérêt, j'ai cherché un dispositif qui permit, une fois le gonflement opéré, de lancer le ballon sans qu'il eût à souffrir des premières rafales, étant donné que nous voulions toujours employer des filets extra-légers. Pour cela, je me suis arrêté à la disposition suivante : J'ai fait établir sur une petite plaque tournante un hangar très léger ouvert d'un seul côté. Le gonflement une fois opéré dans ce hangar, on a soin de tourner son ouverture à l'opposé du vent. Les instruments étant accrochés au ballon, on y fixe également un délesteur à sable ou à liquide muni d'un orifice réglé de façon à ce qu'il se vide en temps convenable, généralement quarante minutes. Le ballon est alors amené auprès de la porte du hangar ; on soutient le délesteur de façon à aider un peu le départ du ballon, et le tout est mis à l'air avec le moins de secousse possible. Nous avons pu, grâce à cette méthode, lancer des ballons-sondes par des tempêtes où le vent atteignait 14 mètres par seconde.

Pour éviter l'influence perturbatrice des rayons solaires et surtout le rayonnement de la partie supérieure des nuages quand ils sont en grande masse et qu'ils forment cette mer de nuages éblouissants, bien connue des alpinistes et des aéronautes, nous avons fait la plupart de nos ascensions de nuit d'abord au clair de lune, avec beaucoup de peine, je dois le dire, puis à la lumière électrique, quand il m'a été possible d'améliorer notre outillage. Depuis le mois de mars de l'année dernière, nous avons lancé plus de cent-vingt ballons, qui ont rapporté des courbes de température et de pression. La hauteur de 13.000 mètres a été atteinte vingt-quatre fois ; celle de 14.000 mètres, huit fois ; celle de 15.000 mètres, trois fois.

Nous pouvons, avec notre outillage actuel, atteindre presque chaque fois la hauteur de 13.000 mètres.

Je saisis cette occasion pour remercier tous mes collaborateurs, et en particulier M. G. Raymond, du concours dévoué qu'ils ont apporté à l'œuvre commune.

En limitant la discussion des observations recueillies à la partie de l'atmosphère qui s'étend du sol à 10.000 mètres, région qui a été explorée par le plus grand nombre des ballons, on voit :

1° Que les différences de température d'un jour à l'autre peuvent être plus grandes, à 7 ou 8.000 mètres, que celles qu'on constate, le même jour, auprès du sol. Ce fait a une assez grande importance, et il est d'ailleurs contraire aux idées qu'on s'était faites à ce sujet ;

2° On voit que la température décroît beaucoup plus vite au voisinage des centres de dépression qu'ailleurs. Cette décroissance, dans certains cas, arrive à être voisine de $0^{\circ},90$ pour 100 mètres.

Enfin on remarque que, dans un grand nombre d'aires de haute pression, je ne dis pas dans toutes, la décroissance de température se présente de la façon suivante : du sol à 1.500 ou 2.000 mètres, la température varie peu et même souvent augmente, après quoi elle commence à diminuer normalement et finit par arriver à 9 ou 10.000 mètres à une décroissance voisine de 1° pour 100 mètres. Si nous rapprochons ces faits de ceux qu'on observe dans les dépressions, on reconnaît que la variation dans la verticale présente ordinairement l'allure suivante.

La partie inférieure des dépressions est souvent plus chaude que celle des aires de forte pression ; mais, après quelques centaines de mètres, la décroissance rapide détermine des températures inférieures dans la dépression.

Aussi la partie moyenne d'une dépression vers 3 ou 4.000 mètres est ordinairement plus froide que la partie correspondante du maximum barométrique. Ce fait a déjà été démontré par M. Hann par les observations de montagne ; mais les ballons-sondes, en confirmant ce premier résultat, montrent que plus haut les températures tendent de nouveau à s'égaliser, ce qui a une grande importance pour la forme des isobares supérieures.

J'aurais voulu pouvoir dire quelques mots des températures de la haute atmosphère, de celle qui s'étend au-dessus de la région ordinaire des cirrus ; mais, bien que nous ayons des observations à ces hauteurs, il nous faut attendre, pour les discuter, d'être assuré que le thermomètre, quand l'air est si peu dense, arrive à se mettre, par simple contact, en équilibre de température avec son milieu. Dans le cas contraire, il faudra recourir à des méthodes spéciales pour prendre la température de l'air aux grandes altitudes.
