

Léon Teisserenc de Bort

1855-1913



Portrait de Teisserenc de Bort. *L'Aérophile*.

Les débuts

Né à Paris, le 5 novembre 1855, dans une famille très fortunée, d'un père qui fut ambassadeur et ministre, Léon Teisserenc de Bort¹ a illustré la météorologie Française pendant trente-cinq ans par sa fructueuse activité dans des domaines forts variés, et en particulier dans l'aérologie où il eut la gloire de la découverte de la stratosphère.

En 1878, à l'âge de 23 ans, Léon Teisserenc de Bort effectue ses premières recherches au Bureau central

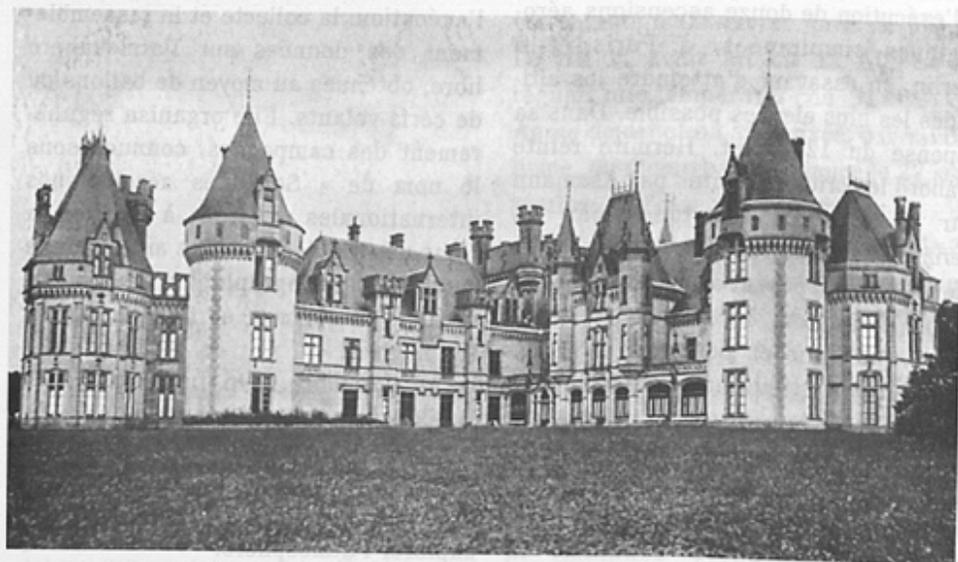
météorologique, créé le 14 mai de cette même année. Sous la direction de Mascart, il est chargé du Service de météorologie générale dont il fut le chef de 1880 à 1892. Il devait assurer, outre la prévision et les avertissements, l'étude des problèmes généraux de la physique du globe ; sa charge comportait l'organisation, l'examen critique et la publication des observations météorologiques effectuées, tant en France que dans les colonies et sur les navires français. Teisserenc de Bort publia alors seize mémoires se rapportant notamment à la répartition des éléments météorologiques à la surface du globe et à leurs relations, à la variation verticale de la température atmosphérique, d'après les observations de montagne et sur la tour Eiffel et à la circulation générale de l'atmosphère. Il a alors introduit la notion de « centre d'action² », qui se révéla fort importante pour l'analyse et la prévision du temps.

Au cours de cette période, pendant ses congés annuels, en 1883, 1885 et 1887, il fait des observations magnétiques en Tunisie et en Algérie, particulièrement dans la zone saharienne. Les premiers résultats de ces observations ont été présentés par Mascart à l'Académie des

1 - Le Château de Bort, éponyme de la famille, se trouve en Haute-Vienne, commune de Saint-Priest Taurion. Il existe aussi, tout près du Mont Saint-Michel, trois polders groupés autour d'une ferme portant le nom de Teisserenc de Bort, qui était administrateur de la « Compagnie des Polders de l'Ouest ».

2 - On appelle « centre d'action », en météorologie dynamique, une zone dépressionnaire étendue, persistante et à déplacement lent. Elle dirige les flux atmosphériques qui s'enroulent autour d'elle et, en particulier, les perturbations qu'engendrent les contrastes thermiques entre les masses d'air qui sont en contact.

Le château de Bort en 1895. Photo De Sèze.



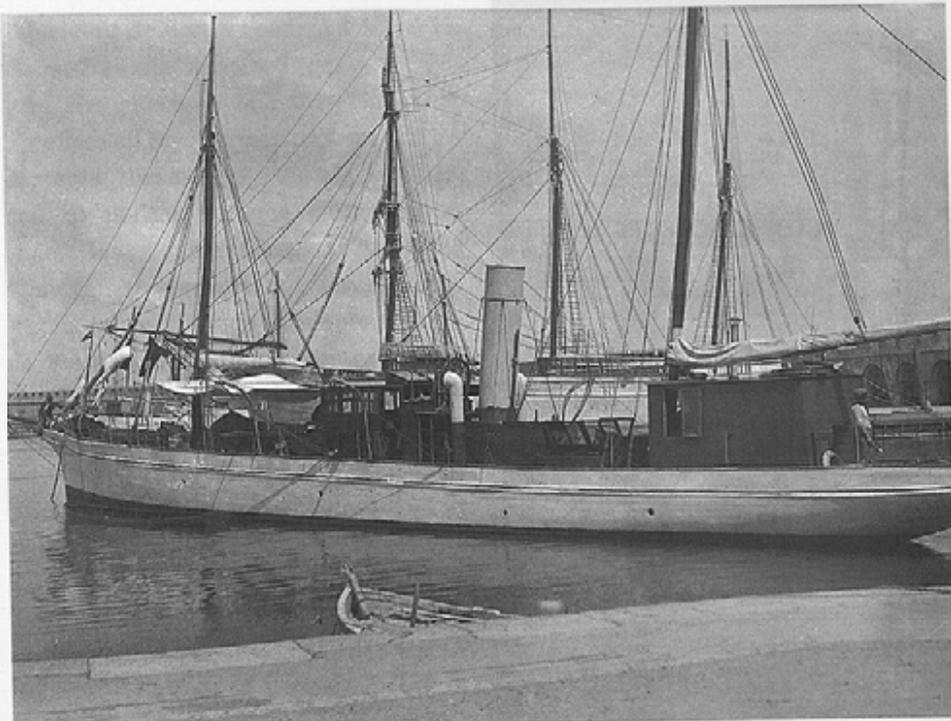
sciences le 9 juillet 1888 ; les valeurs absolues des éléments magnétiques furent publiés dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* de 1891 et 1892. En outre, pendant vingt ans, de 1882 à 1902, Teisserenc de Bort dirige les publications de la Société Météorologique de France (SMF), dont il devint secrétaire général en 1893.

À l'âge de 37 ans, en 1892, l'année même du début des recherches aérologiques d'Hermite et Besançon, il quitte le BCM et accomplit de nombreuses missions scientifiques sur le terrain, tant en France qu'à l'étranger et sur mer. Il utilise successivement deux bateaux lui appartenant : *L'Eider* puis *L'Otaria*, de 43 m de long. En même temps, il mûrit son grand projet : la création, sur ses fonds personnels, d'un espace lui permettant de réaliser librement les recherches qui lui tiennent à cœur. Il prend soin toutefois de faire le nécessaire pour garder des rapports normaux avec le BCM, dont les deux directeurs successifs, Mascart et Angot, le soutiendront toujours.

La maturité

En 1896, Teisserenc de Bort crée l'Observatoire de Météorologie Dynamique à Trappes ; le terrain lui avait été signalé par Renou, directeur de l'observatoire de Saint-Maur, et lui fut cédé par la Compagnie des Chemins de Fer du Midi.

En 1896 et 1897, il étudie surtout les mouvements des nuages dans le cadre de l'Année internationale de l'observation des nuages, à la demande de la Commission de Classification Internationale des Nuages. Il utilise à cet effet deux techniques différentes : d'abord l'observation et le suivi des nuages au théodolite depuis un abri spécialement édifié à Trappes ; puis la photogrammétrie, qui était alors une nouveauté¹, et il prend plus de 4 000 clichés. Pour avoir davantage de précision, il construit un théodolite enregistreur, puis il a recours



L'Eider, le premier bateau de Teisserenc de Bort. Photo De Sèze.

à la triangulation et aménage un second abri sur la commune voisine de Montigny, à 1 318 mètres du premier. Il dispose ainsi d'un système de double visée optique ou photographique. Un calcul simple permet de situer le point du nuage visé et donc de déterminer la vitesse de déplacement. Ce dispositif fut, par la suite, utilisé pour suivre les ballons lancés de l'observatoire.

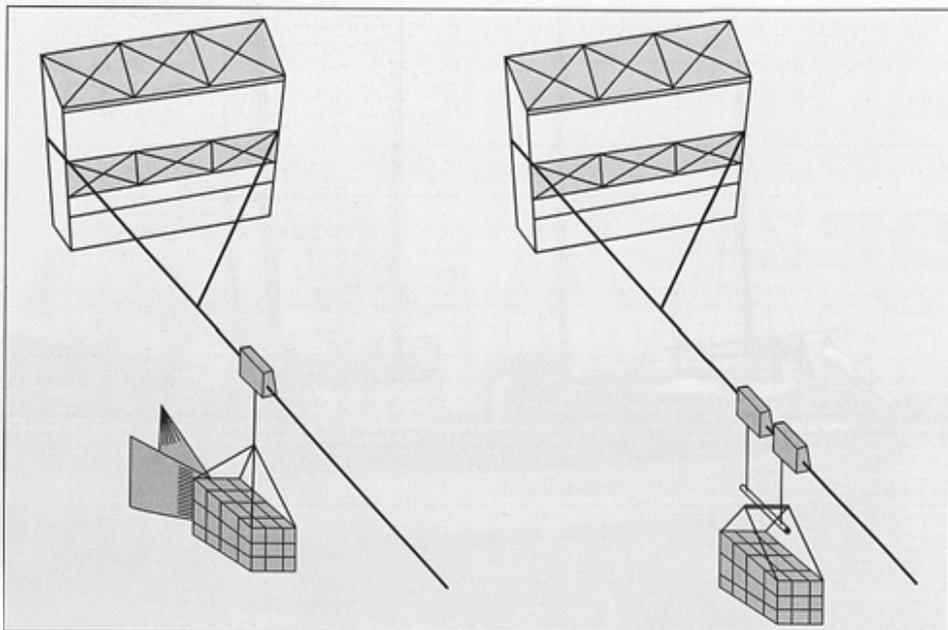
Les cerfs-volants

Après 1897, Teisserenc de Bort se consacre à l'étude de l'atmosphère libre qu'il estimait à juste titre très peu connue, et que les travaux et les appareillages pour ballons-sondes d'Hermite et Besançon lui paraissaient avoir rendue accessible. Il commence ses recherches à l'aide de cerfs-volants. Il utilise d'abord un cerf-volant hexagonal classique à carcasse d'aluminium, qui avait 3 m² de surface, 2 m de long, pesait entre 1 200 et 1 700 g et était muni d'une longue queue. Il le perfectionne avec un soin méticuleux et le rend bifide. Il hésite longuement avant de passer,



Portrait de Mascart, directeur du BCM, de 1896 à 1907. Président de l'OMI de 1896 à 1907. Photo Météo-France.

1 - La photogrammétrie aurait été préconisée pour la détermination de la vitesse des nuages, par Dalton en 1878 et réalisée par Abney, à partir de 1883, avec une base de 200 m, selon L. Lebart (*La Météorologie*, 1997), qui nous paraît avoir sous-estimé l'apport de Teisserenc de Bort.



Modes d'attache du météorographe sous le cerf-volant de Hargrave. D'après un schéma de Perlat.



Reportage paru

dans **Le monde illustré** du 5 mai 1900

Le cerf-volant semble devoir rester propre seulement aux expériences météorologiques, ainsi que l'enseigna Franklin (1706-1790).

On ne sait guère qu'en France, à deux pas de Paris, entre Versailles et Rambouillet, à Trappes, non loin des ruines célèbres de Port-Royal-des-Champs, des savants ont établi une manière de campement et d'observation improvisé où, à l'aide de cerfs-volants et de ballons-sondes, ils étudient méthodiquement les couches élevées de l'atmosphère et font des remarques et découvertes d'un puissant intérêt.

Vu dans son ensemble, l'observatoire de Trappes n'offre aux regards que de petites constructions isolées les unes aux autres. Elles ont chacune une destination spéciale.

La plus curieuse est la « maison tournante » destinée au gonflement des ballons-sondes. Elle est montée sur des galets, ce qui permet de l'orienter de la manière la plus favorable, quelle que soit la direction du vent.

Elle est reliée par une canalisation souterraine à la fabrique d'hydrogène adossée au hangar où se fabriquent les ballons-sondes et les cerfs-volants.

Quant (*sic*) on le voit à terre, inerte, on se demande quelle peut bien être l'utilité d'une pareille carcasse. C'est avec stupeur qu'on constate qu'abandonné au moindre souffle l'appareil s'élève et monte, monte, puis disparaît dans le ciel.

Pour rester maître de cet admirable planeur, on l'a relié à un treuil autour duquel sont enroulés dix mille mètres de fils d'acier de 8/10. Ce treuil est mû par un moteur électrique.

Aux pieds de l'appareil moteur, se trouve un enregistreur qui permet de connaître à la fois la longueur, la tension et l'angle d'inclinaison du fil d'acier au bout duquel, muni de ses propres enregistreurs, plane le cerf-volant désormais tenu en laisse.

vers la fin de 1897, au cerf-volant de Hargrave. Entre autres avantages, ce dernier facilitait le lancer de trains de cerfs-volants et permettait donc d'améliorer les performances en poids enlevé et en altitude atteinte.

Teisserenc de Bort doit assurer la fabrication de ses cerfs-volants et monte un atelier spécialisé à Trappes. Il améliore la technique des sondages. Tout d'abord, pour le treuillage, toujours délicat, il aménage une guérite tournant sur galets et orientable en fonction du vent. Puis il fait construire un treuil électrique : l'enroulement d'un câble de plusieurs kilomètres, éventuellement soumis à des vents forts en altitude, posant de sérieux problèmes, il fait fabriquer un filin composé de fils d'acier de diamètre croissant avec la hauteur ; à la discontinuité ainsi créée dans le câble, il soulageait la traction avec un cerf-volant d'appoint, malgré les difficultés de mise en œuvre. Les progrès ainsi réalisés lui ont permis d'atteindre, le 25 avril 1903, l'altitude, record pour l'époque¹, de 5 908 m.

Teisserenc de Bort a participé au concours de cerfs-volants organisé à l'occasion de l'Exposition universelle qui eut lieu le 30 septembre 1900 au Champ de Mars. Il présenta le cerf-volant de Hargrave, ainsi que nombre d'autres appareils de l'observatoire de Trappes, des documents et des photographies aériennes. La marine américaine présenta un cerf-volant du même type équipé d'un météorographe de Marvin. Le concours fut remporté par J. Lecornu avec un engin cellulaire oblique. Déjà, à l'époque, un des treuils exposés pouvait dérouler 12 000 mètres de câble.

Contrairement à Hermite et Besançon, Teisserenc de Bort n'utilisa pas les météorographes de Richard, mais il réalisa dans ses ateliers de Trappes les appareils dont il avait besoin. Il resta fidèle à l'enregistrement sur noir de fumée déposé sur des feuilles métalliques de cuivre ou d'aluminium, qui étaient réutilisables.

1 - L'amélioration des techniques et des matériaux permet d'élever chaque année ce record. Il dépasse actuellement 13 000 m.

Les ballons

Comme tous ceux qui, avant lui, avaient utilisé le cerf-volant pour la recherche aérologique, Teisserenc de Bort fut rapidement convaincu que l'intérêt de ces engins se limitait aux basses couches de l'atmosphère, et que, pour aller suffisamment haut, il fallait recourir aux ballons. Il reprit donc les techniques d'Hermite et Besançon, en s'efforçant de les améliorer. Dès 1894, il consulta les meilleurs spécialistes du moment et, notamment, le colonel Renard qui, en 1884 avait réalisé le premier vol en circuit fermé sur un dirigeable de sa fabrication. Celui-ci lui conseilla le papier, moins onéreux que la soie ou la baudruche¹. Teisserenc de Bort adopta cette solution en entourant le ballon d'un filet à larges mailles. L'un des avantages était que le papier se déchire à l'atterrissage, ce qui limite le trainage des appareils au sol. Le parachute coiffait le ballon dont le diamètre variait de 3 à 8 m, selon la charge à enlever. Fort de son expérience avec les cerfs-volants, il fit construire un hangar de gonflement, orientable grâce à des galets, et muni de quatre grandes portes se faisant face. Le gonflement exécuté portes fermées, le lancer devenait facile en orientant le bâtiment dans le vent, et en ouvrant la porte sous le vent. Il fabriquait lui-même l'hydrogène dont il avait besoin, en faisant agir de l'acide sulfurique sur de la limaille de fer. Plusieurs modèles de générateur furent successivement réalisés.

Teisserenc de Bort poursuit alors, avec ses ballons-sondes, l'exploration méthodique de l'atmosphère commencée avec les cerfs-volants ; mais il peut désormais envoyer ses météorographes à plus de 10 000 mètres d'altitude et pratiquement par n'importe quel temps². Bien sûr, les dépouillements sont retardés jusqu'à la récupération des appareils, mais, sans doute grâce à la modeste récompense promise, près de 90 % des instruments sont retrouvés.

Le premier ballon est lancé à Trappes le 17 mars 1898. Avant que la maladie ne le contraigne à cesser ses travaux en 1912,

Teisserenc de Bort procédera à 1 116 lâchers. Très vite, il comprendra qu'ils doivent être effectués de nuit, pour éviter les effets du rayonnement solaire sur les capteurs. Très vite, également, il s'aperçoit qu'au-dessus d'une certaine altitude, les températures cessent de diminuer et donnent naissance à une « zone isotherme » de plusieurs milliers de mètres. Très surpris par ce phénomène qu'il ne comprend pas, il doute de ses instruments, de ses collaborateurs et de lui-même. Il se contraint à « corriger » arbitrairement ses relevés au-dessus de cette altitude critique.

Le 19 novembre 1898, Teisserenc de Bort propose au directeur du BCM la construction de « ballons cerfs-volants³ ». Le coût de l'appareil, était de 8 000 francs. Il insiste le 5 juillet 1899, en recommandant l'emploi simultané de cerfs-volants, de ballons fixes et de ballons cerfs-volants, pour effectuer des mesures en continu de 0 à 3 000 m. Hélas, le budget du BCM était bien loin de pouvoir soutenir ce projet ! Teisserenc de Bort n'abandonne pas son « ballon cerf-volant » et construit le premier à Trappes en 1910, avec l'intérêt, et peut-être le soutien, des Armées. Plusieurs ballons de ce type, sans doute progressivement améliorés, ont été expérimentés dans les années suivantes. Mais, peut-être à cause de la détérioration de la santé de l'inventeur, nous n'avons pas trouvé d'information à cet égard, ni de précision sur l'usage météorologique qui a dû en être fait.

La découverte de la tropopause

Dans une communication à la Société météorologique de France, Teisserenc de Bort présente ainsi les résultats du sondage du 8 juin 1898 : « La température minima a été de -59° à la pression de 150 mm de mercure correspondant à l'altitude de 11 800 m, l'aérostas continuant à s'élever jusqu'à 13 000 m. Pendant cette période, le courant d'air vertical était devenu très faible, en sorte que le thermomètre est resté stationnaire



L'atelier de fabrication des cerfs-volants de Hargrave à Trappes. D'après Perlat. Photo Météo-France.



Quand un cerf-volant entre dans l'Histoire

Le samedi 9 septembre 1899, un train de cerfs-volants, au départ de l'observatoire de Trappes, rompt ses amarres et décolle vers l'ouest. Traînant au sol une partie de son câble, il finit par se poser, après divers dégâts, en détruisant la ligne télégraphique reliant Rennes à Paris. Or, c'est le dernier jour de l'inique procès de Rennes, celui de la seconde condamnation du capitaine Alfred Dreyfus ; et l'ensemble du gouvernement (Président du Conseil Pierre Waldeck Rousseau) attend avec angoisse le verdict qui, rendu vers 16 h 15, ne fut connu à Paris que tard dans la soirée.

Cet incident qui fit grand bruit, et qui ne fut pas le seul, poussa Teisserenc de Bort à utiliser dès lors les ballons de préférence aux cerfs-volants.

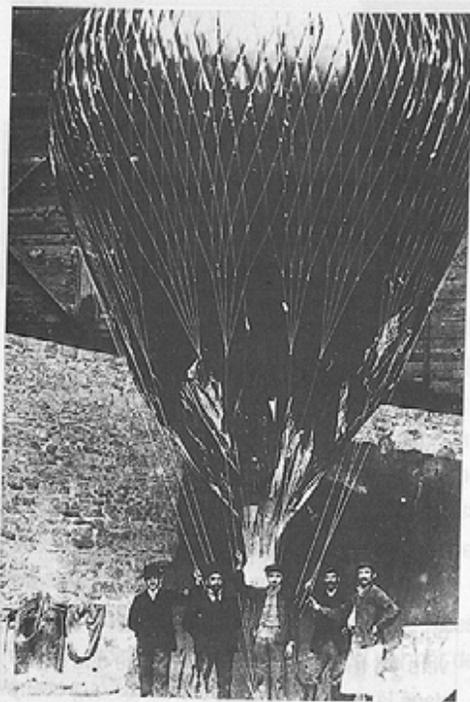
1 - Teisserenc de Bort essaya également, plus tard, les ballons en caoutchouc, plus onéreux et, à l'époque, de qualité aléatoire.

2 - L'altitude maximale atteinte par les ballons de Teisserenc de Bort est de 28 750 m, le 19 décembre 1906.

3 - Le ballon cerf-volant consiste en un ballon fusiforme muni à l'arrière de deux empennages latéraux qui aident à la sustentation à la façon des ailes d'un cerf-volant, d'où son nom. (D'après le Lexique Météorologique de l'ONM-1926).



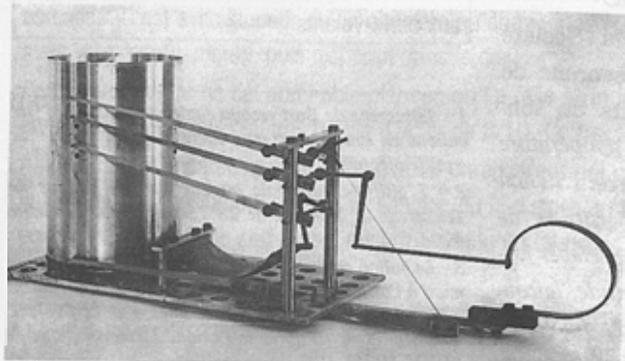
Le treuil motorisé permettant l'ascension des cerfs-volants jusqu'à plus de 5000 m. Teisserenc de Bort est le deuxième à gauche. Photo Météo-France.



1 - Une rue, anciennement sur la commune de Trappes, actuellement sur celle de Montigny-Saint-Quentin-en-Yvelines, porte le nom de « François Geoffre (1873-1952), mécanicien, collaborateur de Teisserenc de Bort, dans ses recherches sur la stratosphère ». On verra que ce dernier n'a pas oublié ses deux collaborateurs dans ses dernières volontés.

Un des premiers ballons en papier en 1895. Photo Météo-France.

Le météorographe de Teisserenc de Bort. Photo Météo-France.



1 - C'est ce que l'on appelle l'inversion de subsidence, de règle dans les anticyclones, provoquée par le mouvement descendant de l'air.



Témoignage de
Robert Fresnay
dont le **père fut**
l'**assistant**
de **Teisserenc de Bort**
(Rapporté par Henri Treussart)

Il n'est pas rare que les scientifiques, devant un résultat de mesures inattendu, songent tout d'abord à incriminer un mauvais fonctionnement des appareils. Teisserenc de Bort n'échappa pas à cette règle et pensa que la modification de la température à la tropopause était le fait d'un mauvais réglage du météorographe. Ce n'est qu'à la suite de plusieurs sondages rendant compte du même phénomène, et sur l'insistance de ses deux assistants (MM. Geoffre et Fresnay) quelque peu ulcérés de voir leurs réglages mis en cause, qu'il admit l'existence d'un phénomène aussi surprenant que naturel.

sous l'influence du rayonnement du sol, des nuages, du ballon... ainsi que cela arrive dans toutes les ascensions par ballons-sondes ». Le 8 janvier 1899, au plus tard, après de multiples essais, il est convaincu de la réalité de l'existence de l'isothermie. Mais cela ne lui suffit pas : il voudrait comprendre ce phénomène et le rattacher à la circulation générale de l'atmosphère. Il voudrait, avant d'en parler davantage, s'assurer qu'il s'agit là d'un phénomène général, que l'on retrouve sur l'ensemble de la Terre et permanent dans le temps. Il sait que sa découverte est importante ; aussi multiplie-t-il les sondages et diversifie-t-il leur localisation. Il envoie de nombreux communiqués à l'Académie des sciences : 11 juillet 1898, 27 mars 1899, 28 avril 1899, 10 juillet 1899, 16 juillet 1899, 21 juillet 1899, 26 novembre 1900, 27 janvier 1902 et 28 avril 1902. Dès celui du 28 avril 1899, il commence à préciser ses résultats : « Dans les périodes des hautes pressions, la décroissance de température avec l'altitude se ralentit et peut même présenter des inversions¹, alors qu'en période dépressionnaire, elle est plus rapide et atteint celle donnée par la détente adiabatique de l'air plus ou moins humide ». Mais, c'est dans la communication du 28 avril 1902 qu'il fait la synthèse de ses travaux. Il insiste sur le fait que la tropopause « est une réalité ignorée jusqu'ici et qui mérite d'être prise en très sérieuse considération dans l'étude de la circulation générale ». Il s'efforce de relier ses variations de hauteur aux « différentes situations ou types de temps ». On trouvera en annexe de ce chapitre des extraits de cette communication. Teisserenc de Bort poursuit ses recherches et, finalement, ce n'est que le 1^{er} mars 1909 que, dans une nouvelle communication à l'Académie des Sciences, il résume l'ensemble de ses travaux en aérologie, dont la découverte de l'isothermie stratosphérique est le plus beau fleuron. C'est à cette occasion qu'il propose les termes « tropopause » et « stratosphère » : le premier marque la couche d'arrêt des mouvements verticaux des couches inférieures de l'atmosphère,

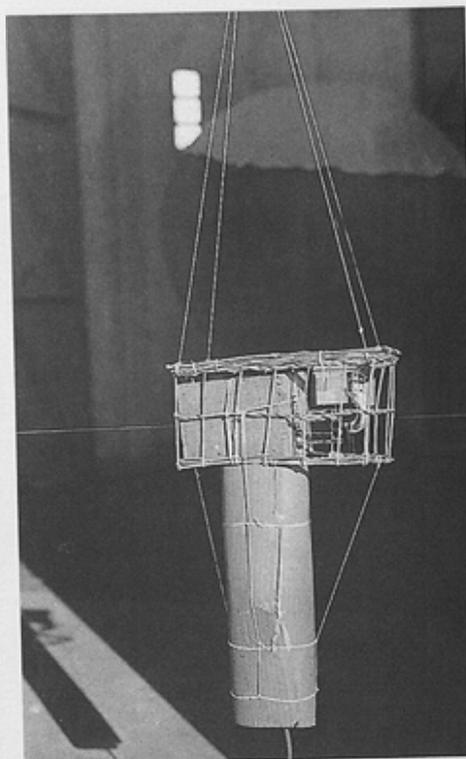
et le second, la stratification des couches supérieures, donc l'arrêt des mouvements verticaux.

L'analyse critique de Dady

La seule critique moderne sur la découverte de Teisserenc de Bort est celle publiée en 1977 par Guy Dady (*Bulletin d'information de la Météorologie Nationale* n° 35). Il a pu étudier les méthodes et les résultats de Teisserenc de Bort en reprenant les documents d'origine. Il souligne les difficultés de lecture des diagrammes au noir de fumée : « Pour les instruments dont il sera question par la suite, la sensibilité est approximativement la suivante : 1 mm de déplacement du style correspond à 1,7 °C pour le thermomètre et à 19 mm de mercure, soit 25 mb, pour le baromètre. Le déplacement du style est considéré comme linéaire pour la température tandis que celui de pression-déplacement est légèrement parabolique. On tient compte en général d'une correction de température pour interpréter la réponse du baromètre ».

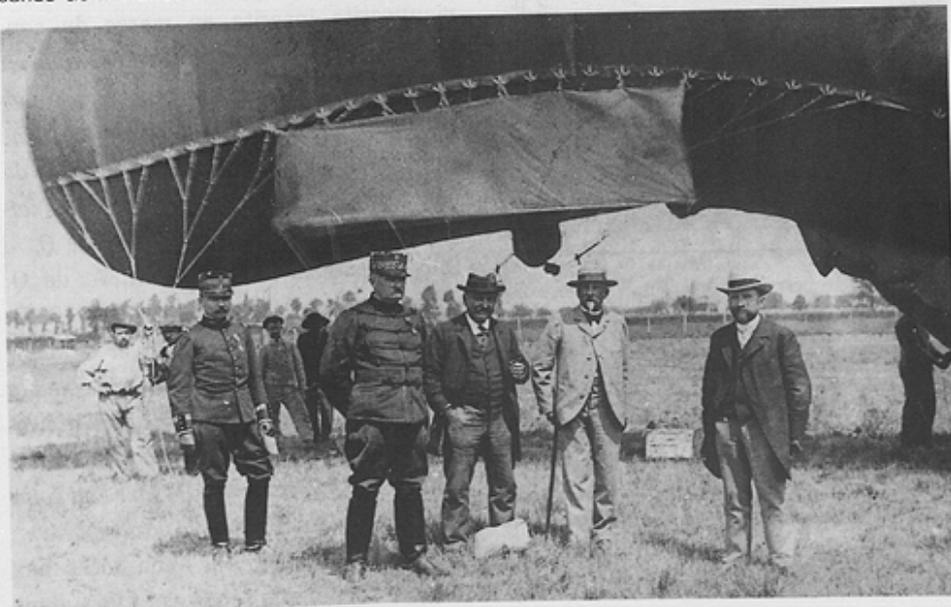
Dady écrit plus loin : « Le premier sondage de Trappes pour lequel il existe un compte rendu d'ascension intéressant est celui du 17 mars 1898. Cette année-là, quarante-cinq ballons furent lancés, mais seulement cinq d'entre eux dépassèrent 11 000 mètres d'altitude (l'altitude est calculée selon l'hypothèse statique et, compte tenu de la précision des mesures, il est vraisemblable d'attribuer des incertitudes d'au moins 300 m aux altitudes élevées, ce qui n'est pas mentionné par les opérateurs) ». Dady étudie ensuite en détail le sondage du 8 janvier 1898, appelé « le douteux » : « Il est lancé à 3 h 03 ; à 3 h 45, il atteint l'altitude de 11 569 m à la température de -59,3 °C. L'altitude maximale aurait été de 13 000 m. Nous trouverons sur le dépouillement diverses valeurs : 12 957 m - 13 077,5 m - 13 252,6 m - 13 168,9 m qui correspondent sans doute à diverses hypothèses sur les corrections instrumentales à apporter ». Très honnêtement, Teisserenc de Bort a rendu compte à l'Académie

(11 juillet 1898) et à la SMF (*Annuaire 1898*, p. 150) des résultats de ce sondage et de sa correction de température au-delà de 11 000 m. Dady insiste alors sur le fait que les opérateurs étaient conscients de l'imperfection de leurs mesures et en particulier de l'importance de l'effet radiatif à haute altitude, si bien que « lorsque la température cesse de décroître et même s'élève au cours de l'ascension, ils interprètent cet effet comme une erreur instrumentale. Ainsi donc, dans ce sondage du 8 janvier 1898, il est indiqué qu'à partir de 11 565 m, où le thermomètre reste stationnaire, la température est corrigée, « en la supposant fonction linéaire de la hauteur comme elle l'a été de 7 000 à 10 000 m. Cette façon de voir les choses le conduit naturellement à donner une solution au faux problème de l'épaisseur de l'atmosphère ». En effet, celle-ci aurait alors été de l'ordre de 40 000 m avec une température de 0 °K ! Mais Teisserenc de Bort n'a jamais rien écrit de cet ordre ! Il pensait au contraire que la température restait à peu près constante, au-dessus de la tropopause, jusqu'à très haute altitude, comme le montre la figure de la page 40. Il avait fondé ses conclusions sur le



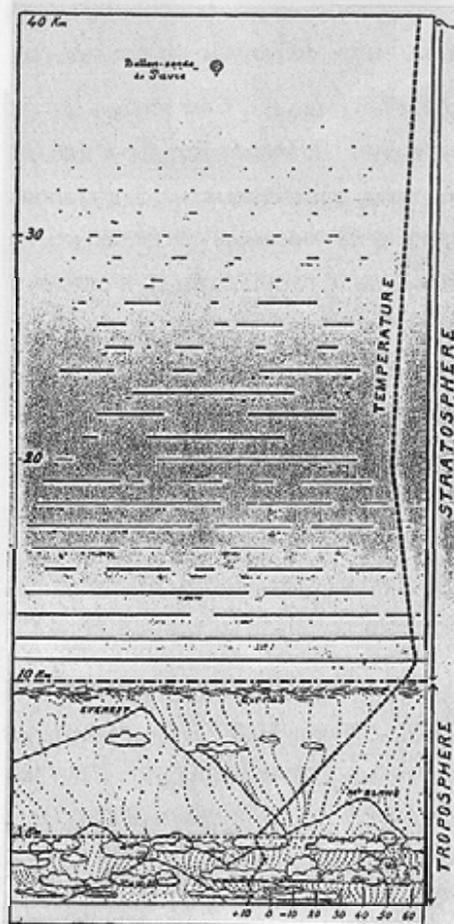
Un des premiers météorographes, avec son panier et son tuyau de ventilation. Photo Météo-France.

Présentation officielle du ballon cerf-volant. Teisserenc de Bort à droite. On remarquera la présence de militaires de haut niveau. Photo Météo-France.





Le ballon cerf-volant en campagne (1915).
Photo Météo-France.



Les zones de l'atmosphère d'après Teisserenc de Bort. *La Météorologie*.

relevé, établi à partir de sondages simultanés faits à Kiruna (Suède) et à Trappes, et donné dans le tableau ci-après.

Date	Lieu	Minimum de température en °C et altitude en m		Altitude max. atteinte en m et température correspondante en °C	
		Température (°C)	Altitude (m)	Température (°C)	Altitude (m)
14 mars 1907	Kiruna	- 69,8	10 760	- 66,6	14 080
		- 63,8	11 150	- 58,6	14 570
26 mars 1907	Kiruna	- 56,7	11 600	- 55,2	15 600
		- 61,9	11 980	- 55,1	15 600
29 mars 1907	Trappes	- 66,3	11 514	- 51,6	17 000
		- 60,6	11 974	- 50,0	14 000

Sa découverte de la tropopause fut bien-tôt reconnue par tous.

Le 17 décembre 1912, un ballon lancé de Pavie (Italie), par le professeur Gamba, atteint 37 700 m avec une température de - 56,9 °C, ce qui, un mois avant sa mort, confirmait les idées de Teisserenc de Bort.

Nous avons déjà dit que c'est sans doute le sondage du 8 janvier 1899 qui a apporté à Teisserenc de Bort la certitude de la réalité des inversions constatées. Lancé à 6 h 37, le ballon atteint 12 984 m en 47 min. D'après Dady, « *La température n'est plus brutalement corrigée au-dessus de 11 000 m* ». Il s'appuie sur une remarque manuscrite inscrite en marge du sondage : « *Parce qu'il est probable que l'inversion de température ne provient pas, ou seulement en partie, d'une insolation, une correction de température de cette partie du (sic) trajectoire, comme elle est faite ordinairement, ne serait pas justifiée. A. de Q.* ». Dady identifie, de bon droit, A. de Q. comme Alfred de Quervain¹ (1879-1927), et il écrit : « *Il semble donc que ce soit à cette attitude contestataire, relativement à la méthode de correction utilisée avant et mentionnée aux comptes rendus de l'Académie des sciences six mois plus tôt, que l'on doit attribuer la découverte de la stratosphère* ».

Jacques Dettwiller, qui a eu accès aux mêmes documents, écrit, en 1960, dans

sa *Chronologie* : « *Des indications manuscrites portées sur les enregistrements donnent à penser que l'isothermie observée*

Le 8 janvier 1899, au plus tard, après de

au-dessus de 11 000 m est à l'origine des réflexions de Teisserenc de Bort et A. de Quervain sur la couche isotherme ».

De nombreux savants étrangers, de fait la quasi-totalité des aérologistes, ont visité l'observatoire de Trappes depuis 1898. Teisserenc de Bort a énormément voyagé, dans toute l'Europe, en Afrique du Nord, en Méditerranée, sur l'Atlantique. Il a participé à de très nombreuses réunions internationales. Il est donc certain qu'il a longuement discuté avec ses collègues des problèmes de l'atmosphère, et il a toujours fait connaître ses recherches. De Quervain a été, dans sa jeunesse, un véritable collaborateur de Teisserenc de Bort, car il a passé plusieurs mois à Trappes pour s'initier aux techniques des ballons-sondes ; il a été chargé en 1900 par son mentor d'une longue mission en Russie avec un matériel important dont un « *dromographe* » d'Hermite. Les résultats ont été publiés en 1903 dans le troisième volume des *Travaux Scientifiques de l'Observatoire*. De Quervain y écrit : « *Il ne paraît pas que nos ballons aient jamais atteint cette fameuse isothermie connue depuis quelque temps, depuis les recherches de M. Teisserenc de Bort, et que nous avons souvent constatée sur les courbes que nous dépouillons à Trappes* ». Nous n'avons trouvé aucun signe de désaccord entre les deux hommes, bien au contraire, et

1 - Alfred de Quervain était un géophysicien suisse connu, en particulier, pour ses travaux en sismologie et son expédition au Groenland en 1912. Il travailla dans les plus grands observatoires de l'époque.

rien n'autorise à parler « d'attitude contestataire ». Nous pensons beaucoup plus vraisemblable l'opinion de Dettwiller, d'un accord après une sérieuse étude en commun ; nous en voyons la preuve dans le qualificatif de « douteux » qui figure sur la chemise de dépouillement ; nous renvoyons également au témoignage de R. Fresnay que nous avons rapporté précédemment.

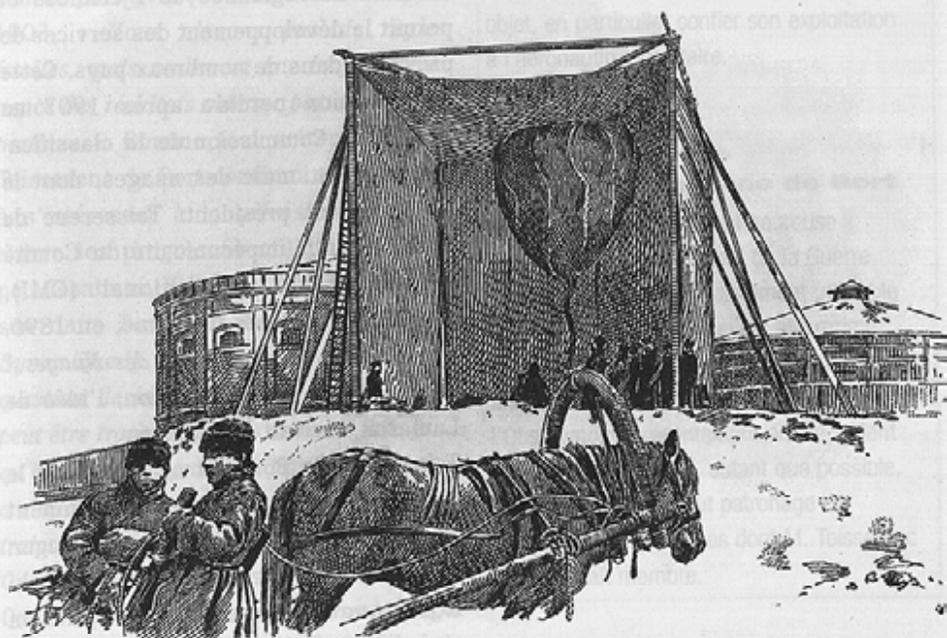
Parmi les savants étrangers, seul le météorologiste allemand Assmann¹, qui commença ses recherches en aérologie en 1894, à l'observatoire de Lindenberg, près de Berlin, était à même de disputer la découverte de la stratosphère à Teisserenc de Bort, avec lequel il correspondait et dont il confirma les résultats en mai 1902 après en avoir douté. Quant aux Anglais, ils furent très sceptiques. En avril 1909, Cave écrit : « En Angleterre aussi, l'existence de la couche isotherme est maintenant considérée comme de plus en plus probable ». Il faut d'ailleurs souligner que, dans les multiples communications, articles ou conférences qu'a pu faire ce dernier, on ne trouve aucun triomphalisme : il se borne à décrire ce qu'il a constaté et n'essaie pas de donner une explication quelconque. Nous y voyons une preuve d'humilité et d'honnêteté intellectuelle.

Les activités internationales

Il convient d'insister sur l'importance de l'activité internationale de Teisserenc de Bort. Nous avons déjà mentionné sa collaboration avec d'éminents savants étrangers qui prouvent sa notoriété et celle qu'il a su donner à l'observatoire de Trappes. Dès son entrée au BCM, il participe activement à de nombreuses réunions et y joue un rôle rapidement croissant. Il prend en particulier une part prépondérante dans les trois conférences de Paris (17 septembre 1896, 10 septembre 1900, 10 septembre 1907) qui préparent la création du Comité météorologique international et assurent la collaboration de tous les Services nationaux de météorologie. Il organise avec Hilde-

brandsson, directeur de l'observatoire d'Uppsala (Suède), l'Année internationale de l'observation des nuages qui se déroule du 1^{er} mai 1896 au 30 avril 1897 et dont le but essentiel est moins l'étude des nuages que celle des courants aériens. En 1904, il organise à Paris une conférence internationale sur les ballons-sondes. On le trouve également dans la Commission du réseau mondial (1907), dont il assure la présidence, et dans la Commission d'aérologie scientifique qui se réunit à Monaco en 1909.

Son activité, ses nombreuses publications et le succès de l'observatoire de Trappes lui assurent une grande

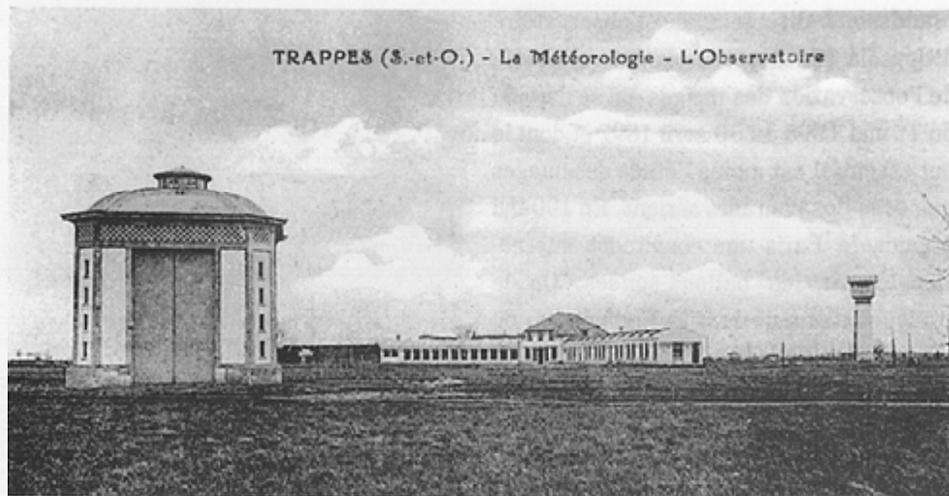


Abri de gonflement de De Quervain lors de sa mission en Russie durant l'hiver 1900. Photo Météo-France.

audience internationale, des amitiés fidèles et des collaborations flatteuses. Mais c'est sans doute sa longue amitié avec le grand savant suédois Hildebrandsson qui fut la plus féconde. Elle a débuté avant 1886 ; elle se poursuit pendant les missions à Kiruna et au Danemark (1902). Elle aboutit en 1906 à la publication², sous les deux signatures, des *Bases de la Météorologie Dynamique*, qui eut un retentissement

1 - Assmann fut de 1899 à 1914, directeur de l'observatoire de Lindenberg qui contient, entre autres souvenirs, une collection intéressante des cerfs-volants utilisés pour les sondages aérologiques et, en particulier, le train de cerfs-volants qui détint le record d'altitude pour ce genre de vecteur.

2 - La parution débuta sous forme de fascicules successifs à partir de 1896. Ils furent réunis en deux tomes en 1906.



L'Observatoire de Trappes en 1928. Photo Météo-France.

mondial. Cet ouvrage ouvrit la voie aux théories norvégiennes de Bjerkness et permit le développement des services de prévision dans de nombreux pays. Cette collaboration perdura après 1907 au sein de la Commission de la classification internationale des nuages, dont le suédois était président. Teisserenc de Bort, devant l'impécuniosité du Comité météorologique international (CMI), accepta de financer lui-même, en 1896, l'édition du premier *Atlas des Nuages* ! Après un siècle de gestation, l'idée de Lamarck, arrivait à maturité.

Teisserenc de Bort, fut certainement le météorologiste français le plus éminent de l'époque et le plus connu à l'étranger. Il éclipsa tous ses anciens collègues du BCM manquant de moyens, d'inspiration et souvent âgés. Il occulta également Hermite et Besançon, sans doute moins soutenus.

Il reçut, de l'Académie des sciences, le prix Estrade-Ducros, puis le prix Houllé. Le 18 mars 1903, il fut admis membre de la Royal Meteorological Society (RMS), qui lui remit en janvier 1908 la *Symons Gold Medal* et le nomma membre honoraire le 17 mars 1909¹. Il a certainement recueilli bien d'autres décorations et témoignages d'admiration².

Le 14 novembre 1910, il est élu à l'Académie des sciences par quarante-

neuf voix sur soixante-neuf. Il est affecté à la « Section des académiciens libres », sans doute parce qu'on ne savait à quelle discipline reconnue on pouvait rattacher la météorologie !

La dernière communication de Teisserenc de Bort à l'Académie des sciences³ date de 1913. Elle est certainement posthume, car son auteur, malade depuis plusieurs années, s'était retiré à Cannes, où il mourut le 2 janvier 1913, à l'âge de 57 ans.

L'observatoire après Teisserenc de Bort

Curieusement, dans son rapport d'activité de l'année 1911, Angot, directeur du BCM, mentionne l'observatoire de Trappes comme s'il était sous son autorité et se réjouit de « la substitution de bâtiments de pierre aux anciennes constructions par trop légères ». Mais, l'année suivante, dans le même document, rédigé quelques jours après la mort de Teisserenc de Bort, il s'inquiète : « Au moment où les études de la haute atmosphère se développent d'une manière si remarquable dans le monde entier, ce serait un grand malheur de voir disparaître le seul établissement où ces études sont poursuivies régulièrement en France. On ignore encore si Teisserenc de Bort a pu prendre les dispositions nécessaires pour que son observatoire lui survive. Tout le monde scientifique souhaite que, non seulement l'observatoire de Trappes soit maintenu, mais que l'on assure aussi la publication des documents si intéressants qui y ont été accumulés depuis seize ans et qui sont restés presque entièrement inédits »⁴. Mais Angot n'avait pas à se morfondre. L'observatoire de Trappes ne tarda pas à revenir à l'État. À la mort de Teisserenc de Bort, il devint la propriété de sa nièce, Céline Joséphe Marie Hermine, célibataire, demeurant au Château de Bort. Elle proposa d'abord le don de l'observatoire à l'Institut, à condition qu'il en assure la poursuite de l'explo-

1 - Les renseignements sur les liens entre Teisserenc de Bort et la Royal Meteorological Society ont été fournis à Pierre Duvergé par notre collègue britannique R. J. Odgen, membre du groupe d'Histoire de la Météorologie de la RMS. Il trouvera ici nos sincères remerciements.

2 - Le nom de Teisserenc de Bort a été donné à l'un des cratères de Mars : 118 km de diamètre par 6° N et 315° W. Lavoisier fut honoré de la même façon.

3 - La première communication date du 17 novembre 1879. Il y en eut plus de trente.

4 - Il semble que nombre d'entre eux le soient malheureusement restés.

tation. Après son refus devant l'importance des frais impliqués par cette sujétion, la donation fut acceptée par le ministère de la Guerre le 7 octobre 1913. L'ensemble couvrait environ 4,6 ha et la donation comprenait la totalité des bâtiments et des matériels. L'acte précise que celle-ci a été faite « dans un but patriotique et pour honorer la mémoire de son oncle ».

La donatrice demandait également que, conformément aux souhaits de son oncle, le Département de la Guerre garde au service de l'observatoire ses trois plus proches collaborateurs : MM. Maurice, météorologiste, Geoffre et Fresnay, garçons de laboratoire, en leur conservant leur salaire.

La donation fut acceptée, le 19 mars 1914, par le ministre de la Guerre, Joseph Noulens, selon un acte, passé à Issoudun, qui reprend et accepte les conditions mentionnées ci-dessus. Le ministère dut verser 2,73 F à la Conservation des hypothèques de Versailles !

Les locaux et ses commodités furent utilisés pendant la guerre de 14-18 par le Service météorologique des armées. Les années suivantes furent difficiles faute de moyens, mais, dès 1925, Pierre Idrac fut nommé directeur de l'observatoire et nous verrons qu'il en fit bon usage. Les ateliers créés par Teisserenc de Bort continuèrent à fonctionner à échelle réduite jusque vers 1930, date à laquelle le développement du radiosondage exigea un nouvel effort.

La situation domaniale, à cette époque, paraît avoir été assez floue : l'ONM, de 1920 à 1929, était sous l'autorité du ministère des Travaux publics, organisme civil. Le 28 janvier 1929, il est rentré dans le giron du ministère de l'Air, qui était d'essence militaire. Mais ce n'est que le 20 juillet 1934 que l'observatoire a été mis officiellement à la disposition du ministère de l'Air. Après 1937, l'ensemble des Services du Matériel de l'ONM, qui, depuis la guerre, se trouvaient au Mont-Valérien, fut progressivement transféré à Trappes.

L'œuvre de Teisserenc de Bort

Pour clore cet épisode primordial de notre étude sur l'aérologie, nous nous efforcerons de dégager l'idée-force des recherches de Teisserenc de Bort. Dès le début de sa carrière, au BCM, il fut chef du Service de la Météorologie Générale qui comprenait le Service des Avertissements, c'est-à-dire ce que nous appelons la Prévision à court terme. Mais il n'existait pas de méthode de prévision. Lavoisier avait déclaré : « *La prévision du temps est un art qui a ses principes et ses règles* ». Mais plus de 100 ans plus tard, en 1899, Angot écrivait : « *C'est une question de pure pratique* » et confirmait, en 1903, « *Nous n'avons pas de règles étroites, mais seulement une longue expérience des résultats obtenue par une longue pratique* ». Comme tout météorologiste, Teisserenc de Bort continua toute sa vie à s'intéresser à la prévision et à en suivre les progrès éventuels. Mais, un peu désabusé, il écrit, avec Hildebrandsen dans *Les bases de la Météorologie Dynamique* (p. 192) : « *Il est évident que la question de la formation des cyclones ne peut être tranchée par les travaux faits jusqu'ici... Les trajectoires principales qu'on a cherché à fixer sont plus ou moins arbitraires* ».

Cependant, il fait partie du jury du Concours de prévision, organisé à Liège en septembre 1908, par la Société belge d'astronomie. Son but essentiel était de tester les « règles », controversées et quelque peu fumeuses, que Gabriel Guilbert, secrétaire de la Commission Météorologique du Calvados, défendait et développait depuis 1891. Ce dernier, que l'on pourrait appeler le « météorologiste maudit », tant son œuvre et même son nom ont été oubliés et même semble-t-il volontairement gommés¹, fut proclamé vainqueur haut la main, devant cinq autres candidats de différents pays. Teisserenc de Bort écrit dans son compte rendu : « *Les prévisions de*



Extrait de l'acte
de donation
du 7 octobre 1913
Observatoire

Teisserenc de Bort
à Trappes

Conditions

La présente donation est consentie sous les conditions suivantes que le Département de la Guerre devra rigoureusement exécuter.

1 - L'établissement présentement donné portera le nom de « Observatoire Léon Philippe Teisserenc de Bort ».

2 - Cet établissement ayant été créé par M. Léon Philippe Teisserenc de Bort pour l'étude de l'atmosphère, le Département de la Guerre devra le consacrer au même objet, en particulier confier son exploitation à l'aéronautique militaire.

Désirs exprimés

par M^{me} Teisserenc de Bort

M^{me} Teisserenc de Bort est heureuse de donner au Département de la Guerre un Établissement immédiatement utilisable pour les services d'aérostiers et exprime le très vif désir que les recherches scientifiques, qui ont fait la réputation de l'Observatoire présentement donné, soient continuées à Trappes, autant que possible, et placées sous le haut patronage de l'Académie des sciences dont M. Teisserenc de Bort était membre.

Signature de Teisserenc de Bort. Photo Météo-France.

1 - On reprochait aux règles de Guilbert l'absence de justifications théoriques, leur complexité, l'imprécision du vocabulaire utilisé... Renou, directeur de l'observatoire du Parc Saint-Maur, assurait que « la méthode ne peut être appliquée que par son auteur » !

M. Guilbert, en plus de leur réussite dans les cas difficiles, sont basés sur une méthode dont l'objet principal est de prévoir les modifications de la situation générale ».

Teisserenc de Bort s'accommodait mal des obligations administratives ainsi

que de la routine des tâches quotidiennes. Peut-être aussi se sentait-il étouffé au sein d'une administration vraiment peu tonique et manquant de moyens. Dès 1892, il avait tiré les leçons de la situation, dans laquelle il

se trouvait, de ne pouvoir assurer de façon satisfaisante les tâches de prévision dont on lui avait donné la responsabilité. Un esprit rigoureux comme le sien ne pouvait se satisfaire de cette situation, due essentiellement à un manque de données. Il était impossible d'élaborer des prévisions alors que l'on était très loin de pouvoir faire les analyses préalables. Il quitta donc le BCM et décida de consacrer sa vie et ses ressources à la connaissance de l'atmosphère. Pour cela, il fallait des moyens techniques qui n'existaient pas : d'où la création de l'observatoire de Trappes et son appellation « Laboratoire de Météorologie Dynamique », d'où également les campagnes de mesures par cerfs-volants puis par ballons en de nombreux points du monde, y compris sur mer. Mais cela constituait un moyen et non un but. Teisserenc de Bort ne pouvait se contenter de succès technologiques : ce qu'il recherchait était la connaissance des mouvements de l'atmosphère : d'où les études sur les alizés et les contre-alizés¹, ainsi que les cartes moyennes de vent et de pression en altitude dans laquelle il est sans doute le premier à pressentir l'existence des jet-streams. Puis vient enfin son œuvre maîtresse : *Les bases de la Météorologie Dynamique*, qui marque certainement un apogée. Ce besoin de comprendre et son honnêteté scientifique expliquent sans doute l'étonnant délai qu'il a mis à confirmer sa découverte de la tropopause (de janvier 1899 à avril 1902) et la prudence des termes de ses communications. Il a tenu à s'assurer de la généralité du phénomène et à fournir le maximum de précisions sur ses relations avec les situations météorologiques et selon la localisation géographique. Mais il n'a pas donné d'explication physique. Ce n'est certainement pas faute d'y avoir réfléchi et nous pensons que la découverte qui l'a rendu célèbre lui a laissé, jusqu'à la fin de ses jours, une grande insatisfaction intellectuelle.

Annexe

Extraits de la 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 entre 8 et 13 km d'altitude. Note de M. L. 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'Observatoire 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 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 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... »

¹ - Arago avait entrepris, cinquante ans plus tôt, d'importants travaux sur les alizés (cf. p. 22). Il avait notamment mis en évidence, depuis le sommet du Pic de Teide, aux Canaries, l'existence de l'inversion de subsidence, particulièrement basse et marquée sur la face orientale des anticyclones tropicaux.