

La mesure du vent en altitude et les ballons-pilotes

Les premières mesures

La détermination de la direction et de la vitesse du vent en altitude a, pour les météorologistes, un intérêt considérable. C'est sans doute Kepler qui effectua les premières mesures en étudiant le déplacement au sol de l'ombre des nuages. Les cerfs-volants donnaient la direction et une idée de la vitesse, à l'altitude où ils planaient. Les ballons montés ont livré nombre d'observations, mais disséminées dans le temps comme dans l'espace. Ces données ont cependant permis d'avoir, dès le premier quart du XIX^e siècle, une idée assez précise de la circulation générale, notamment grâce aux importants travaux de compilation de Brandes qui confirmaient et affinaient les schémas de Hadley.

L'avènement de la météorologie synoptique, après Le Verrier, montra la nécessité de tracer des cartes quotidiennes au sol et en altitude. Ces dernières étaient encore inaccessibles. On essaya d'abord

de reprendre l'idée de Kepler, en étudiant le déplacement des nuages. Bravais notamment, en 1868, élaborait un « néphoscope », miroir horizontal orientable sur lequel l'image de la couverture nuageuse se déplaçait. Besson, en 1897, inventa la « herse néphoscopique » qui donnait correctement la direction, et approximativement la vitesse du nuage visé, mais l'altitude de celui-ci ne pouvait qu'être estimée. On utilisa aussi, nous l'avons vu, la photogrammétrie, qui améliorait la précision, mais ne permettait guère une utilisation opérationnelle. Enfin Abbe, en 1872, proposa d'utiliser le faisceau d'un projecteur vertical, avec un système de double visée optique. Mais on ne déterminait ainsi, les vents qu'à un seul niveau, et dans des conditions météorologiques ou d'éclairage adéquates. Cependant la météorologie progressait et ses réseaux s'étendaient, en même temps que l'aéronautique pointait. Il devenait indispensable de disposer opérationnellement de mesures de vent à tous les niveaux.

Une anecdote

Rapportée par Pierre Duvigne

En 1940, le chef du Service du Soudan (actuel Mali) quitta Bamako pour installer le poste de sondage par ballons-pilotes, de Niamey au bout d'une piste de 300 km au nord. À 40 km du but, il fut abandonné

par ses porteurs et son escorte ; il eut alors un étrange transporteur : un ballon-pilote. C'est l'explorateur français Charles-Henri de la Condamine qui le premier en 1833 signala le premier nuage en altitude au-dessus de Niamey, en mission de l'Académie des sciences. Il croit, d'après Poirier, qu'il s'agit d'un nuage de type cirrus, mais qu'il n'a pas pu en faire une description précise. Une autre explication est possible : il s'agit d'un nuage de type cirrus, mais qu'il n'a pas pu en faire une description précise.

Le ballon-pilote est un ballon monté qui est utilisé pour mesurer le vent en altitude. Il est composé d'un ballon rempli d'hydrogène ou d'hélium, d'un panier et d'un système de suspension. Le ballon-pilote est utilisé pour mesurer le vent en altitude, la température, la pression et l'humidité.

Le ballon-pilote est utilisé pour mesurer le vent en altitude. Il est composé d'un ballon rempli d'hydrogène ou d'hélium, d'un panier et d'un système de suspension. Le ballon-pilote est utilisé pour mesurer le vent en altitude, la température, la pression et l'humidité.

Le ballon-pilote est utilisé pour mesurer le vent en altitude. Il est composé d'un ballon rempli d'hydrogène ou d'hélium, d'un panier et d'un système de suspension. Le ballon-pilote est utilisé pour mesurer le vent en altitude, la température, la pression et l'humidité.

Le ballon-pilote est utilisé pour mesurer le vent en altitude. Il est composé d'un ballon rempli d'hydrogène ou d'hélium, d'un panier et d'un système de suspension. Le ballon-pilote est utilisé pour mesurer le vent en altitude, la température, la pression et l'humidité.

Principe de la mesure

La mesure du vent en altitude nécessite l'utilisation d'un ballon ascendant et la connaissance de sa trajectoire. On doit donc pouvoir déterminer, pour chaque point de cette trajectoire, les trois coordonnées de base par rapport à un système orthonormé dûment orienté. Une visée optique, à l'aide d'un théodolite¹, permet de déterminer la position sur un plan horizontal. Mais, jusqu'à l'arrivée des mesures radioélectriques, il n'y eut que deux moyens de déterminer la hauteur.

Le premier consiste à viser le ballon avec deux théodolites : un calcul trigonométrique simple permet de déterminer la hauteur par rapport au plan horizontal du lieu de lancement. La difficulté est d'assurer la simultanéité des visées. Cette méthode a été utilisée pour de nombreuses études, mais elle était trop complexe pour être quotidiennement opérationnelle, même si Lepetit a développé vers 1936 un théodolite enregistreur spécialement adapté à ce type de sondage.

La deuxième méthode pour déterminer la hauteur consiste, nous l'avons déjà vu, à munir le ballon d'un baromètre enregistreur ; le dépouillement du diagramme permet alors, par application de formules ou d'abaques issues de la loi de Laplace, de calculer la différence de niveau entre le lâcher et le point considéré. Mais la méthode est coûteuse et on est bien loin de pouvoir connaître le vent en temps réel.

La méthode d'Hergesell

Hergesell, directeur du Service météorologique d'Alsace-Lorraine, avait, proposé en 1903, une formule permettant de calculer la vitesse ascensionnelle des ballons d'après son gonflement. Après de nombreuses mesures, dont certaines effectuées, avec l'aide d'A. de Quervain, à l'intérieur de la cathédrale de Strasbourg, il proposa en 1910 d'accepter l'approximation selon laquelle la vitesse

verticale du ballon était constante et égale à 200 m/min pour un ballon gonflé à 150 g. La hauteur du ballon devient donc proportionnelle au temps écoulé depuis son lâcher. La mesure est alors très simple d'autant, qu'en 1901, sont apparus les ballons en caoutchouc sans collage et qu'Assman les a déjà utilisés pour les sondages aérologiques. C'est le début des « ballons-pilotes ».

Les insuffisances du système sont évidentes : constance douteuse de la vitesse ascensionnelle, occultation par les couches nuageuses et les précipitations, limitation par la portée visuelle. Les vents forts sont mal observés, car l'inclinaison est alors trop faible. D'après Jules Rouch (1884-1973), on ne peut suivre un ballon au théodolite au-delà de 45 km. La nuit, on attache au ballon une petite lanterne vénitienne dotée d'une bougie ; la portée visuelle est réduite et les résultats médiocres. On a rendu aussi les lanternes responsables de quelques incendies. On leur a substitué alors une petite lampe électrique munie d'une pile, sèche d'abord, plus tard amorçable par humidification².

Grâce à sa simplicité, cette méthode peu onéreuse se généralisa rapidement et fut très largement utilisée pendant plusieurs décennies. Elle conduisit à la lente mise en œuvre d'un important réseau mondial de stations faisant deux ou quatre sondages par jour.

Nous devons ajouter que le ballon-pilote a été et est encore utilisé, selon le même principe, pour mesurer la hauteur du plafond, en particulier sur les aérodromes. La vitesse étant supposée constante, il suffit de mesurer le temps écoulé entre le lâcher du ballon et son occultation par le nuage pour connaître la hauteur de celui-ci.

1 - Les théodolites utilisés pour les sondages météorologiques, comportent une lunette de visée, munie d'un prisme qui permet de garder l'oculaire horizontal. Il y en eut de nombreux modèles, 20 ans après le dromographe de Hermitte plusieurs théodolites enregistreurs ont été mis au point : Rosemberg, de Quervain, Dines, Zeiss, Le Prieur...

2 - En France, cette amélioration ne fut réalisée que vers 1960.



Le caoutchouc

C'est l'explorateur français Charles-Henri de la Condamine

qui, le premier, en 1743, a signalé l'existence du caoutchouc en relatant la descente de l'Amazone, qu'il fit, après avoir, avec Bouguer, effectué la mesure du méridien au Pérou, en mission de l'Académie des sciences. «

Il croît, dans la Province d'Esméralda, un arbre appelé hévéa. Il en découle, par une seule incision, une liqueur blanche comme du lait qui se durcit et se noircit peu à peu à l'air. Les Indiens nomment le résidu qu'ils en tirent » cahutchu, ce qui se prononce caoutchouc et signifie « l'arbre qui pleure ». Il rapporta des graines qui ne soulevèrent qu'un intérêt de curiosité.

Dans le courant du XIX^e siècle, après la découverte en 1846 de la vulcanisation, le développement de l'industrialisation amena une explosion des besoins, alors que la production était encore au stade de la cueillette, faite par les « seringueiros ».

En 1876, Henry Wickham réussit à faire sortir soixante mille graines d'hévéa du Brésil. Elles furent multipliées dans les serres royales de Kew Garden, puis réexpédiées vers la Malaisie dont les immenses plantations assurèrent, pendant près de cinquante ans, à la Grande Bretagne, le quasi-monopole de la production du caoutchouc.

Critique de la méthode

Dans son cours d'aérogologie¹, Perlat s'étend sur la critique des mesures par ballons-pilotes et rappelle les diverses formules proposées pour calculer la force ascensionnelle du ballon en fonction de divers paramètres : volume, poids, nature du gaz de gonflement, etc. Il obtient des résultats variant de 16,4 %. Il estime que les ascendances thermiques peuvent aisément doubler la vitesse ascensionnelle normale. Cette vitesse peut varier très sensiblement avec la hauteur, tant à cause de l'orographie que pour des raisons météorologiques : ascendances thermiques, subsidence, précipitations, etc. Les cas de ballons descendants sous l'effet du givre ne sont pas rares ; en 1939, l'un d'entre eux put ainsi être suivi jusqu'à son retour au sol, puis à son nouveau départ, après dégivrage. De même, dans des stations situées sur un point haut, par vent fort, le ballon commença par descendre.

La vérification de l'hypothèse d'Hergesell a fait l'objet de nombreux travaux, tant à l'étranger (Assmann, Dines, Heisselberg, Peppler, etc.) qu'en France, notamment avec la campagne effectuée par Baldit, en 1935, à la Banne d'Ordanche et celle faite par Dubief et Queney, en 1936, à Tamanrasset. Ils utilisèrent particulièrement le sondage à deux théodolites. Les résultats, tant en France qu'à l'étranger, sont assez concordants : la vitesse ascensionnelle est généralement sous-estimée dans les basses couches et surestimée ensuite².

L'utilisation en France

Dans les années qui suivirent l'apparition des ballons-pilotes, c'est-à-dire juste avant la première guerre mondiale, la situation de l'aérogologie dans notre pays était assez catastrophique.

Teisserenc de Bort, miné par la maladie, avait mis l'observatoire de Trappes en veilleuse, alors que le BCM ne disposait d'aucun crédit pour promouvoir les techniques nouvelles et n'avait que peu d'autorité sur les stations du réseau national, qu'il ne finançait pas. Ainsi, le développement des stations de sondages par ballons-pilotes fut-il pratiquement nul en France jusqu'à la guerre. Même s'il en fut de même dans la majorité des autres pays, cette carence fit perdre au nôtre la primauté qu'il avait atteint, vingt ans plus tôt, grâce notamment à Hermite, Besançon et, surtout, Teisserenc de Bort. En fait, c'est la guerre qui imposa l'adoption de cette méthode de sondage d'origine allemande. L'après-guerre en vit l'implantation définitive, mais l'apport de notre pays au perfectionnement de la technique des ballons pilotes paraît limité ; les moyens financiers de l'époque étaient très réduits, par contre la main d'œuvre militaire était abondante et peu onéreuse !

Pendant longtemps, on s'est donc contenté du sondage classique, tel qu'il avait été mis au point vers 1916 par le Service militaire des armées, avec le vieux théodolite Morin à deux observateurs, l'un pointant, l'autre écrivant. Ce n'est qu'en 1932 que fut utilisé en exploitation un nouvel appareil permettant le sondage avec un seul opérateur. À la même date, un théodolite enregistreur pour les sondages par ballons-pilotes a été construit par Yves Le Prieur (1885-1963), quarante-deux ans après le « dromographe » d'Hermite dont nous avons dit quelques mots. Peu de temps après, un autre type d'enregistreur, spécialement adapté aux sondages à deux théodolites, a été mis au point par Lepetit. Les graduations du théodolite étaient en relief et une liaison filaire assurait la simultanéité de l'inscription des données sur une bande de papier défilant. Cependant, les appareils enregistreurs paraissent avoir été peu utilisés en France, alors que dans



Une anecdote

Rapportée par Pierre Duvergé

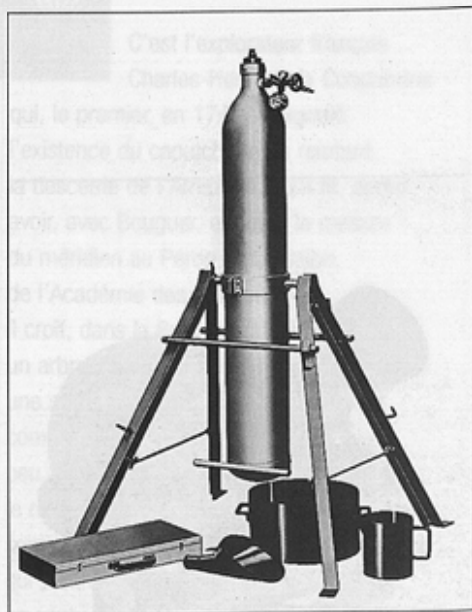
En 1940, le chef du Service du Soudan (actuel Mali) quitta Bamako pour installer le poste de sondage par ballons-pilotes, de Nema au bout d'une piste de 300 km au nord. À 40 km du but, il fut abandonné par ses porteurs et son escorte ; ils croyaient transporter un canon !



Le nouveau théodolite Morin. La Météorologie.

1 - Il y a eu, entre 1934 et 1948, plusieurs éditions du cours de Perlat, successivement remaniées et mises à jour.

2 - La vitesse moyenne, pour un ballon taré à 150 g, est de l'ordre de 190 m/min au lieu des 200 convenus. Les météorologistes se sont généralement accommodés de cette approximation. Mais leurs collègues américains ont considéré que la vitesse ne devenait constante qu'au bout de 6 minutes. Ils apportaient une correction de + 20 % pour la première minute, de + 10 % pour les deux minutes suivantes et de + 5 % pour les 4^e et 5^e. Les incertitudes sur la hauteur font que les sondages par ballon-pilote ne sont plus pratiqués que dans les pays où le manque de ressources financières interdit l'utilisation de toute autre méthode.



Le générateur d'hydrogène H.I.C. n°3. La Météorologie.

certains services étrangers ils étaient d'une utilisation courante.

Les problèmes de gonflement

L'ONM a apporté un progrès certain en ce qui concerne le gonflement des ballons. Dans les stations métropolitaines, les tubes d'hydrogène sous pression, d'origine industrielle, souvent appelés « bouteilles », sont largement utilisés depuis le début du siècle. Cependant, dans les territoires d'outre-mer, ou pour des expéditions lointaines, la distribution régulière de bouteilles d'hydrogène n'est pas pensable et le gaz doit être fabriqué sur place. On utilise alors un « générateur d'hydrogène », gros tube d'acier muni d'un bouchon vissé portant un manodétendeur et une capsule de sécurité qui saute en cas de surpression. L'appareil est porté, grâce à deux touillons, par un châssis métallique ; deux barres d'arrêt assurent la fixité de l'ensemble. On verse dans la bouteille du ferrosilicium en grains, qu'un tuyau métallique percé de trous distribue progressivement, de la soude caustique en paillettes et de l'eau bouillante.

Cet appareil, le HIC n° 1, a été conçu et mis au point vers 1931 par l'Oxyhydrique Française. Suffisant pour les ballons-pilotes, il se révéla trop petit pour les besoins du radiosondage et, vers 1938, apparut le HIC n° 3, très semblable extérieurement aux tubes du commerce et dont les charges étaient les suivantes : 380 g de ferrosilicium en grains, 650 g de soude en paillettes et 1,600 l d'eau. Un manchon en tissu d'amiante assurait une protection contre l'échauffement du tube, et une valve la sécurité.

Un inconvénient résidait dans le fait qu'après la réaction subsistait au fond de l'appareil un dépôt assez compact ; il n'était pas très facile de l'enlever, mais la sécurité exigeait la propreté du tube. En outre, la réaction générait une vive augmentation de température. Dans les

régions tropicales, la réaction était très active et il était prudent de refroidir le tube ; quelques incidents se sont produits. En revanche, dans les zones polaires, où le générateur était généralement à l'air libre, la réaction était souvent très lente à démarrer.

Dans son cours d'aérologie, de 1934, Perlat signale qu'une autre méthode de fabrication d'hydrogène a également été essayée, en utilisant l'hydrolithe. Ce procédé ne paraît pas avoir été utilisé en exploitation, en France tout au moins.

Les dangers potentiels de l'utilisation de l'hydrogène ont évidemment fait songer au gonflement à l'hélium, mais ce n'est guère qu'au début des années trente que la production de ce gaz a atteint le stade industriel, tout en restant cependant onéreuse.

Les États-Unis, seuls producteurs à l'époque à l'échelle voulue, en ont sévèrement limité l'exportation, durant longtemps, ce qui a particulièrement gêné le développement et l'exploitation des dirigeables. Le ballon stratosphérique du professeur Piccard¹, en 1931, était gonflé à l'hélium. Mais ce dernier ne paraît avoir, à l'époque, été utilisé que pour des vols expérimentaux ou pour de rares expéditions.

Conclusion

Malgré la facilité d'utilisation des ballons-pilotes, ils étaient loin de satisfaire pleinement les besoins. Les mesures étaient assez imprécises, par suite de la variabilité de la vitesse ascensionnelle des ballons. Elles dépendaient également de la couverture nuageuse et de la portée visuelle. La nuit elles n'avaient guère de valeur. Il fallut attendre pour trouver mieux, les travaux d'Idrac et de Bureau.

¹ - Nous n'en parlerons pas davantage, car il semble qu'il n'ait eu, à l'occasion de ce vol, que très peu de contacts avec la Météorologie française.