

Les ballons stratosphériques, *des outils indémodables*

Christian Du Brulle

Une enveloppe hermétique, un peu de gaz, une nacelle pouvant accueillir des passagers ou des instruments scientifiques... Les ballons n'ont pas fini d'intéresser les spécialistes du spatial. Qu'ils soient météorologues, climatologues, astronomes, chimistes, biologistes, physiciens ou encore ingénieurs, l'invention des frères Montgolfier du 18^e siècle éveille toujours leur intérêt.

Chaque année, les agences spatiales dans le monde y ont recours pour réaliser des campagnes de recherches scientifiques ou technologiques. Leurs atouts? Contrairement aux engins en orbite, situés à des centaines de kilomètres d'altitude, les ballons évoluent au sein même du milieu qu'ils étudient : une tranche atmosphérique parfaitement définie et dont l'altitude de travail est planifiée en fonction des études envisagées. Autre avantage : la longue durée de leurs observations. Les fusées-sondes traversent la troposphère puis la stratosphère en quelques poignées de secondes. Les ballons sont capables d'y évoluer pendant des heures, voire des journées entières, multipliant d'autant la récolte de données. Toujours par rapport aux fusées-sondes, ces "titans" du ciel sont aussi capables d'emporter une lourde et volumineuse instrumentation.

Enfin, leur technologie rudimentaire et leur souplesse d'utilisation (pas besoin d'infrastructures lourdes comme pour le lancement de satellites) les rendent économiquement attractifs et déployables sous toutes les latitudes. On ne compte plus, en effet, les missions de ballons effectuées sous les tropiques ni... en Antarctique.



Auguste Piccard et le FNRS-1 : premiers voyageurs stratosphériques

La première machine volante fut un ballon. Cet aérostat, imaginé et lancé par les frères Joseph et Etienne de Montgolfier était un ballon à air chaud qui effectua son premier vol en 1783, en France. Aujourd'hui, les aérostats du monde entier utilisent toujours des ballons fonctionnant sur le même principe.

Certains aérostats préfèrent cependant les ballons à gaz. L'enveloppe de leur machine est fermée et contient un gaz plus léger que l'air : généralement de l'hélium ou de l'hydrogène. Les scientifiques ont pour leur part exclusivement recours aux ballons à gaz. Rappelons que parmi les scientifiques qui se sont intéressés à la stratosphère, le Suisse Auguste Piccard fut le premier à s'y rendre personnellement... C'était en 1932, à bord d'un ballon à hydrogène et d'une nacelle pressurisée.

Cette expérience, largement sponsorisée par la Belgique (Piccard était à l'époque attaché à l'Université libre de Bruxelles et le ballon ainsi que sa nacelle, baptisés FNRS-1, avaient été subsidiés par le... FNRS), ouvrit la voie à l'exploration scientifique de cette région de l'atmosphère. La nacelle du FNRS 1 est aujourd'hui exposée au musée de l'Armée.



Trois types de ballons scientifiques

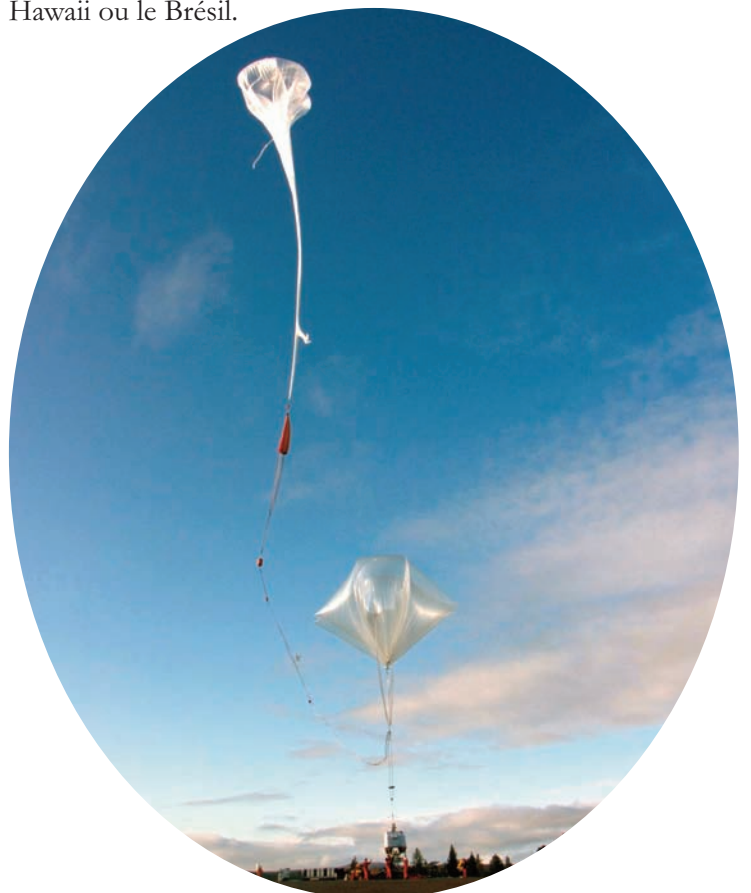
En Europe, c'est l'Agence spatiale française, le CNES, qui est le leader en matière de ballons. Le CNES a développé un savoir-faire dans ce domaine depuis les années 1970. Selon les besoins, différents types de ballons sont utilisés. Outre le classique ballon-sonde météorologique qui se dilate au fur et à mesure qu'il monte et qui "éclate" une fois sa mission remplie, les gros ballons stratosphériques sont soit de type ouvert, soit pressurisé, soit de type "infrarouge".

Les ballons ouverts disposent d'une ou plusieurs ouvertures dans le bas de leur enveloppe. Cela leur permet de communiquer avec l'extérieur. Quand ils atteignent leur niveau de travail et qu'ils se sont complètement dilatés, le surplus de gaz s'échappe et équilibre le ballon et ses instruments avec l'air ambiant.

Les ballons pressurisés ne laissent rien filtrer de leur gaz vers l'extérieur. Ils permettent des vols de (très) longue durée.

La montgolfière à infrarouge assure de son côté sa portance par de l'air chauffé par le rayonnement solaire ou le rayonnement infrarouge émis par la Terre pendant la nuit. Elle peut assurer des missions de plusieurs jours en changeant d'altitude la nuit. Le jour, sous l'effet puissant du rayonnement solaire, ce type de ballon peut atteindre 30 km d'altitude. La nuit, il "chute" à une vingtaine de kilomètres du sol pour remonter le lendemain matin.

En Europe, les gros ballons sont pour la plupart lancés depuis Esrange en Suède. Suivant les campagnes, d'autres sites de décollages sont arrêtés; par exemple en Antarctique ou encore Hawaii ou le Brésil.



Envol d'un ballon stratosphérique sur la base d'Esrange à Kiruna.
© LPC2E/CNRS/Univ.Orléans/GAUBICHER Bertrand, 2009



TRAQ Balloon Brésil
© ESA



Gonflage d'une montgolfière infrarouge
© CNES/DERAMECOURT Arnaud, 2008

Les sondages atmosphériques : une longue tradition de l'IRM

Trois fois par semaine, un ballon blanc en latex néoprène s'élève rapidement au-dessus de l'avenue Circulaire, à Uccle. L'Institut royal météorologique (IRM) effectue en effet chaque lundi, mercredi et vendredi un sondage atmosphérique in situ. C'est principalement l'ozone et sa concentration qui intéressent les chercheurs.

Pourquoi l'ozone ? Ce gaz qui nous protège des rayons ultraviolets émis par le Soleil est une molécule très instable. Les composés chlorés qui se sont accumulés dans l'atmosphère, suite notamment à l'utilisation de fréons dans les installations frigorifiques, ont réduit la densité de ce gaz dans la stratosphère. C'est le fameux "trou" dans la couche d'ozone. L'utilisation de ces produits est interdite depuis le Protocole de Montréal (1987). Cette mesure a-t-elle les effets escomptés ? La concentration d'ozone dans la haute atmosphère augmente-t-elle et à quelle vitesse ? Pour répondre en détail à ces questions, l'IRM assure une surveillance régulière par ballons-sondes. Gonflés à l'hydrogène, chacun d'eux emporte vers la stratosphère un petit boîtier avec des instruments de mesure. Au sommet de celui-ci émergent une petite antenne, diverses sondes et un petit tuyau mince. Le boîtier pèse 1,188 grammes. L'enveloppe du ballon (de fabrication japonaise actuellement) affiche quant à elle une masse de 1500 grammes.

"Le ballon s'élève généralement à une vitesse moyenne de 330 mètres par minute", explique-t-on à l'IRM. "À chaque instant, les instruments emportés par le ballon mesurent la pression atmosphérique, la température extérieure et l'humidité relative. Une pompe aspire en continu l'air environnant et dose l'ozone qui y est présent".

Une fois le ballon lâché, les données atmosphériques sont introduites dans l'ordinateur de contrôle du vol. Celui-ci enregistre ensuite les données du vol, de seconde en seconde. L'altitude est dérivée des variations de pressions enregistrées. La direction du ballon et sa vitesse de déplacement sont déduits des données issues des satellites GPS qui le suivent par triangulation (jusqu'à onze satellites peuvent entrer en jeu simultanément).

"Un vol dure 3 à 4.000 secondes", précise un technicien de l'IRM. "Cela dépend des vents latéraux qui peuvent freiner la montée. Souvent, il se dirige vers les Pays-Bas ou l'Allemagne, à cause des vents dominants en Belgique. Quand il atteint une altitude de 25 à 30 kilomètres, le ballon s'est tellement dilaté qu'il éclate. Grâce à son parachute, il retombe doucement vers le sol. Pendant cette descente, les instruments continuent de fonctionner. Nous bénéficions donc généralement de deux profils atmosphériques lors de chaque vol : un à la montée et l'autre lors de la chute".

75 à 80 % des boîtiers scientifiques des ballons sont récupérés. Chacun d'eux est en effet muni d'une étiquette de consignes invitant toute personne qui retrouverait ces instruments à prendre contact avec l'IRM qui se charge de les rapatrier et de récompenser (modestement) ce ou cette collaboratrice occasionnelle. Les instruments des boîtiers sont souvent réutilisés.



Les ballons ont plus d'une corde à leur nacelle !

De quelques heures à quelques jours, les vols de ballons stratosphériques peuvent rendre de fameux services à la communauté scientifique. Certains étudient in situ diverses propriétés de l'atmosphère, comme les ballons-sondes de l'IRM par exemple. D'autres répondent à des objectifs scientifiques précis.

BOOMERang

Pour étudier les confins de l'Univers, il ne faut pas nécessairement disposer de satellites ultrasophistiqués voguant sur des orbites exceptionnelles. Bien sûr, des outils de ce genre sont "aussi" très intéressants pour les cosmologistes. Les grands acteurs spatiaux ne les négligent d'ailleurs pas. La preuve ? La NASA a lancé Cobe en 1992 puis Wmap en 2003. L'ESA a de son côté élaboré Planck, un satellite scientifique entièrement destiné à l'étude détaillée du rayonnement du fond diffus cosmologique, le "CMB" en anglais. Le CMB est un rayonnement électromagnétique quasi uniforme dans toutes les directions. Il est considéré comme étant un reliquat de l'époque dense et chaude qu'a connue l'Univers il y a environ 13 milliards d'années. Il montre toutefois de minimes fluctuations, des anisotropies comme on dit dans le jargon. Ce sont ces anisotropies qui ont été étudiées par les satellites Cobe puis Wmap.

Ce qu'on sait sans doute moins, c'est que ce fameux CMB a déjà été étudié grâce aux ballons stratosphériques. L'expérience internationale baptisée BOOMERang reposait en effet sur de
40 longs vols d'aérostats. BOOMERang (Balloon Observations of millimetric extragalactic radiation and geophysics) s'est concrétisé par trois vols de ballons réalisés entre 1997 (vol test aux Etats-Unis) et 2003 (depuis l'Antarctique). Dans la nacelle de ces ballons, les chercheurs avaient disposé des bolomètres travaillant à des températures proches du zéro absolu. Le CMB se manifeste en effet à des températures de l'ordre de 3 degrés kelvin (-270 degrés celsius environ).

Quant au choix de l'acronyme BOOMERang pour cette mission, il fait référence au fait que le ballon, une fois lancé, revenait à son point de départ au terme de son vol. Comment ? Grâce aux vents circulaires qui soufflent en Antarctique (le "vortex polaire"). C'est grâce à lui que les ballons lancés depuis la base américaine Mc Murdo tournent autour du pôle avant de revenir à leur point de départ deux semaines plus tard.

Casolba

Tester au sol l'efficacité et le rendement de cellules solaires destinées à des satellites, c'est bien. Les tester à haute altitude, là où la température et les conditions d'ensoleillement se rapprochent bien plus de ce qui prévaut en orbite, c'est mieux. Ce sont très logiquement des ballons stratosphériques qui sont utilisés pour le programme français Casolba (CALibration de cellules SOLaires sur vol BALLon). Il existe aussi d'autres moyens de test des cellules photovoltaïques en dehors de l'atmosphère : lors de campagnes à bord de la navette spatiale ou lors de vols d'avions de haute altitude. Les ballons s'avèrent toutefois être les plus simples à mettre en oeuvre et les moins coûteux. (www.cnes.fr)

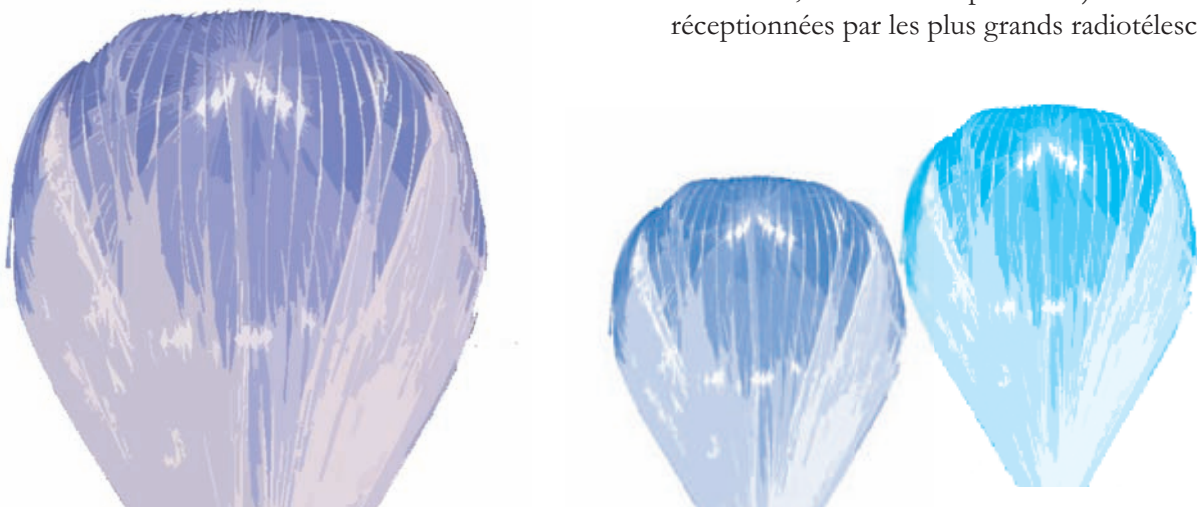
ULDB

Si les ballons de sondages météorologiques remplissent leur mission en quelques dizaines de minutes, d'autres en cours de développement visent clairement des périodes de travail en vol de plusieurs dizaines de jours. C'est le cas du programme ULDB (Ultra Long Duration Balloon) de la NASA.

Fin décembre 2008, la NASA a lancé un ballon géant depuis la station de recherche américaine de Mc Murdo en Antarctique. Ce colosse de 200.000 mètres cubes était un engin gonflé à l'hélium semblable aux ballons-sondes utilisés par les services météorologiques. Le prototype devait tester diverses technologies. Le but de la NASA étant de mettre au point un engin capable de rester en l'air de très longues périodes avec une charge utile conséquente d'une tonne à 42 kilomètres d'altitude. Le 20 février 2009, le record était battu ! Le ballon était resté en l'air pendant 54 jours 1 heure et 29 minutes. L'objectif d'un vol de 100 jours n'est plus aussi lointain que cela. Pour cette mission de trois mois, la NASA devrait cependant fabriquer un "super" ballon géant de quelque 630.000 mètres cubes. (www.csbf.nasa.gov et <http://sites.wff.nasa.gov/code820>).

Deux ballons pour Vénus

La Terre n'est pas la seule planète à voir voguer des aérostats. En juin 1985, deux ballons de taille modeste (3,5 mètres de diamètre) ont été largués dans l'atmosphère vénusienne par les sondes Vega soviétiques à quatre jours d'intervalle. Pendant une quarantaine d'heures, ils ont évolué à une cinquantaine de kilomètres d'altitude au-dessus de Vénus, dans des vents violents soufflant à quelque 250 kilomètres par heure ! La nacelle de ces ballons contenait six kilos d'instruments scientifiques (capteurs de pression, de température, de mesure du vent, de luminosité, détecteur de particules) dont les données ont été réceptionnées par les plus grands radiotélescopes terrestres.



100 ans de sondages belges par ballons

Le premier sondage atmosphérique réalisé par ballon en Belgique remonte au 5 avril 1906. La Belgique devenait ainsi le 10ème pays au monde à procéder à ce type de sondages. Une initiative certes météorologique mais qui à l'époque n'avait encore rien à voir avec l'IRM. Et pour cause, l'Institut royal météorologique n'a été créé qu'en 1913. C'est donc sous l'égide de l'Observatoire royal (et de son service météorologique) que l'expérience était lancée. "Expérience" car les lancements systématiques de ballons ne débutèrent qu'en 1909. Ce service a connu des hauts et des bas, notamment liés aux conflits mondiaux. Interrompu en 1940, le service a repris en 1945. Depuis 1969, les sondages comprennent aussi des détecteurs d'ozone.

BEXUS

L'ESA organise régulièrement des campagnes de vols de ballons stratosphériques pour les étudiants de l'enseignement supérieur. Ces campagnes baptisées BEXUS (Ballon EXperiments for University Students), permettent l'emport d'expériences développées dans le cadre de leurs études. C'est au départ d'Esrange, en Suède, que ces ballons à hélium de 12.000 mètres cubes de volume sont lancés pour des vols de plusieurs heures. Lors de la campagne de 2009, l'ESA a sélectionné cinq propositions dont le projet belge So-High d'étudiants de l'Université Catholique de Louvain. Il visait à démontrer le bon fonctionnement de composants électroniques miniaturisés dans la haute atmosphère. Le cœur de ce projet prenait la forme d'une plaquette électronique miniature SOI (Silicon on insulator) et de capteurs électromécaniques miniatures (Mems) destinés à mesurer la pression, la température et l'humidité des couches atmosphériques traversées. (www.rexusbexus.net).



Ballon Bexus



Concordiasi

Ce programme international associant des équipes françaises, américaines, italiennes et australiennes vise à exploiter plus efficacement les mesures des satellites, et principalement celles effectuées par le sondeur atmosphérique infrarouge IASI embarqué sur le satellite européen Metop-A, afin de mieux appréhender la météorologie de l'Antarctique et de préciser le rôle de la calotte polaire dans le climat actuel de notre planète. Son second objectif est de collecter des mesures météorologiques dans la basse stratosphère afin de mieux comprendre le phénomène de destruction de l'ozone en haute altitude qui intervient à chaque printemps austral. L'originalité de Concordiasi réside dans l'analyse croisée de mesures satellitaires et de mesures in situ.

41

Fin 2010, la troisième campagne de Concordiasi a mobilisé 19 ballons instrumentés et lâchés depuis la base polaire américaine de Mc Murdo. Capables de transporter près de 50 kilos de charge, ces ballons sont un véritable concentré de technologie, une combinaison de moyens de mesures in situ et à distance permettant une grande variété de relevés. Parmi ces moyens, 650 dropsondes larguées sous parachute depuis ces ballons permettent de mesurer la pression, l'humidité de l'air, le vent et la température sur une grande épaisseur de l'atmosphère, en des points précis inaccessibles à l'observation par d'autres moyens. Contrôlés depuis le centre de recherche de Météo-France à Toulouse, les largages des sondes se font à la demande lors des passages du satellite Metop-A au-dessus des ballons, afin de valider directement les mesures de l'instrument IASI. □

