

AVEC NOS ÉLÈVES

Un ballon-sonde envoyé à 26 000 m pour mesurer la température de l'atmosphère

J.-F. Le Saux, Lycée Descartes, Montigny-le-Bretonneux

Un bel exemple de projet pour lequel les élèves ont fait de la physique et dans lequel ils ont dû se régaler.

Le but de cet article est de montrer l'intérêt d'un lancer de ballon sonde, et de donner quelques pistes pour la réalisation d'un tel projet.

Pourquoi et comment faire ?

Tout d'abord pour faire rêver et passionner les élèves ! Il existe peu de projets qui permettent de s'imaginer voler à plus 20 kilomètres d'altitude ! Ensuite, pour faire des sciences et de l'histoire des sciences. La gestion du projet peut être facilitée par des logiciels comme GanttProject¹ ou Freeplane². Le lancer de ballon-sonde est, pour des raisons évidentes de sécurité, très réglementé. Il y a deux voies : Planète Sciences adossée au CNES propose une structure bien ficelée avec un document d'accompagnement précis³. On peut aussi faire appel aux radios amateurs et notamment la FFBRA⁴. J'ai retenu cette seconde option car elle me permettait de réaliser un lancer depuis le lycée sans quitter la région parisienne et j'avais quelques liens avec les radioamateurs, ayant par le passé réalisé un contact en direct avec la Station spatiale internationale (ISS) grâce à eux⁵.

Préparation

Ce projet a un certain coût, de l'ordre de 1 000 € en incluant l'achat d'une GoPro, sa carte mémoire et les batteries. Il faut donc trouver un soutien financier ; dans mon cas par exemple, l'hélium a été fourni par une société (GTT). Les radioamateurs dont un ingénieur à la retraite m'ont apporté un soutien technique.

On peut alors commencer le projet avec les élèves. Un aspect historique permet de se plonger dans les livres anciens (j'ai une petite collection personnelle).

Nous avons par exemple consulté *L'air et le monde aérien* d'Arthur Mangin publié en 1865, les *Merveilles de la science* de Louis Figuier, et autres ouvrages permettant de parler des mesures faites par Gay-Lussac en pression et en température en 1804. Nous avons aussi évoqué l'astronome Audouin Dollfus qui, en 1959, va atteindre 14 000 mètres dans une nacelle étanche, épaisse d'un peu plus d'un millimètre ! Ce sera aussi l'occasion d'un parrainage avec l'Observatoire de Paris : nous allons rencontrer Régis Courtin du LESIA (Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique) qui viendra nous parler de la mission Cassini et de l'atmosphère des planètes du Système solaire. Enfin nous avons visité le LATMOS⁶, notre lycée étant situé tout près.

Réalisations

Il faut en premier lieu assembler la nacelle à partir de plaques de matériaux isolants, de colle et de cure-dents ! Chaque groupe d'élèves a réalisé la sienne, une seule s'étant finalement envolée : la plus résistante (heureusement, on le reverra plus tard lors de l'atterrissage).



Fig.1. Photo du groupe.

Il faut ensuite choisir les capteurs qui seront embarqués dans la nacelle « élève » et reliés à un microcontrôleur (un « Arduino ») fourni par les

1 Logiciel libre de gestion de projet.

2 Logiciel libre qui permet de créer des cartes heuristiques (ou Mind Map), diagrammes représentant les connexions sémantiques entre différentes idées.

3 <https://www.planete-sciences.org>

4 <http://www.ballons.flsh.info>

5 <https://blog.f6krk.org/contact-iss-f6krk-un-formidable-succes/>

6 <http://www.latmos.ipsl.fr/index.php/fr/>

radios amateurs dans la partie supérieure de la nacelle incluant le système GPS et la radio qui émet les données reçues ensuite au sol. Pour un premier essai nous avons retenu un capteur de pression, deux capteurs de température (à l'intérieur et l'extérieur de la nacelle) un capteur d'ozone et deux caméras. Tel un petit projet de recherche, il a fallu trouver les capteurs les mieux adaptés. Nous avons utilisé des thermistances pour la mesure de la température qu'il a fallu étalonner (figure 2).

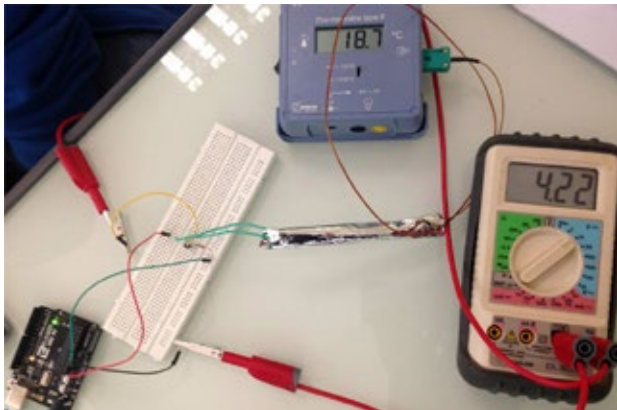


Fig.2. Étalonnage de la thermistance.

Pour le capteur de pression nous avons retenu une mesure différentielle car la plage de fonctionnement convenait aux très basses pressions présentes en haute altitude. Nous avons tenté de boucher un orifice du capteur sous pression réduite, cet orifice pouvant ensuite donner une pression de référence. Le radio-club a conçu pour cela un dispositif ingénieux, une pièce unique étant usinée pour l'occasion (figure 3).

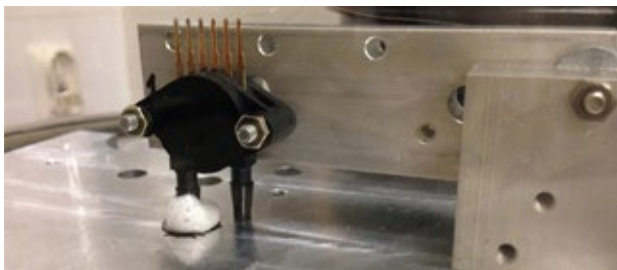


Fig.3. Le capteur de pression en noir, et la colle bouchant un orifice.

Une fois le vide partiel réalisé dans une cloche en laboratoire, on descend le capteur dont l'un des orifices viendra toucher un point de colle qui en séchant va l'obstruer : on obtient une pression de référence. Problème : à pression réduite la colle « mousse » et le dispositif devient très poreux ! Nous avons donc finalement mis un point de colle à pression normale, avec une baisse de précision dans nos mesures : comme il y a de l'air et non un vide partiel dans l'orifice de référence il nous faudrait tenir compte de ces variations de pression en fonction de la température ; notre étalon n'en n'est plus vraiment un.

Pour le capteur d'ozone, nous avons retenu un petit dispositif à la hauteur de nos moyens : le « MQ131 », qui doit être alimenté en continu 24 h avant le décollage et qui peut être relié directement au microcontrôleur Arduino.

Quant aux caméras, nous avons opté pour des « GoPro » car elles ont fait leurs preuves dans des conditions de température très faibles et les derniers modèles possèdent un mode « linéaire » qui ne déforme pas l'image, utile si l'on veut faire des mesures.

Pour les batteries, alors que la plupart des lancers précédents utilisaient des piles jetables, nous avons opté pour une batterie rechargeable « lithium-ion », après avoir vérifié son bon fonctionnement dans un congélateur.

Le jour J

Après l'autorisation donnée par la mairie pour l'utilisation du terrain et par l'Aviation civile pour éviter toute collision, le ballon peut décoller. Que d'émotions ! Ce sont les radioamateurs qui vont nous aider au gonflage puis à la récupération avec l'ADRASEC (Association Départementale des Radio Amateurs au service de la Sécurité Civile). On découvrira que le parachute ne s'est pas déclenché et que la nacelle est tombée en chute presque libre (ralentie par les frottements de l'air) heureusement en plein champ ! Les caméras auront filmé tout le long et les données pourront être exploitées.

Les résultats

La température

Nos mesures de température montrent que celle-ci baisse jusqu'à atteindre un minimum vers 13 000 m, puis elle remonte (figure 4).

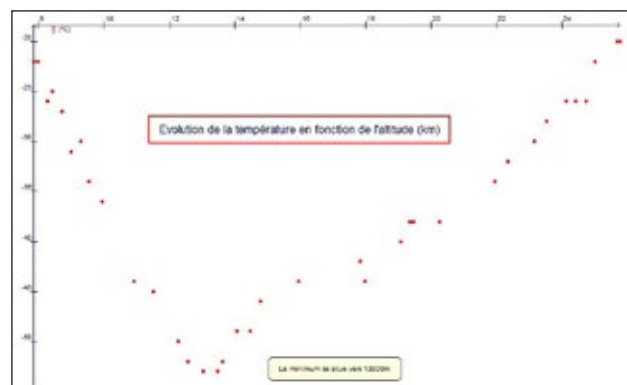


Fig.4. La température en fonction de l'altitude.

La pression

La pression diminue sans atteindre des valeurs aussi basses que prévues (nous n'avons pas pris en compte le fait qu'il y avait de l'air dans l'orifice de référence).

L'ozone

Le capteur d'ozone a bien fourni des valeurs mais qui ne correspondent pas à celles attendues ; ce capteur est très sensible aux variations de température (figure 5).

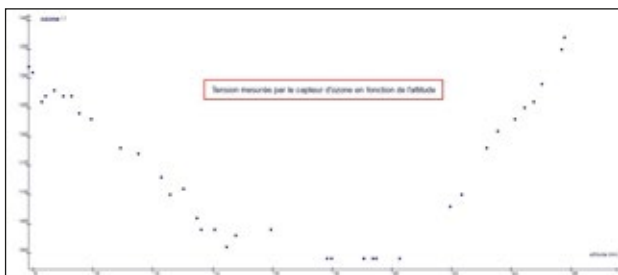


Fig.5. Tension mesurée par le capteur d'ozone en fonction de l'altitude.

La trajectoire du ballon

Les positions GPS permettent de visualiser la trajectoire sur Google Earth (figure 6).

Les photos

Les photos prises à haute altitude permettent de voir que le ciel n'est plus bleu mais noir et également de visualiser la rotondité de la Terre (figure 7).

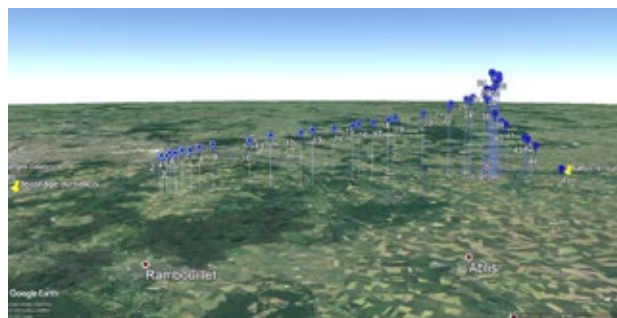


Fig.6. La trajectoire du ballon.

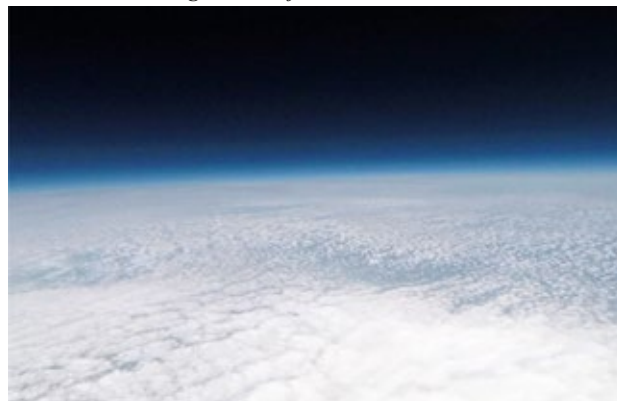


Fig.7. La Terre est ronde !

Un résumé de ce projet est visible à l'adresse <https://www.dailymotion.com/video/x60peec>. ■