

# AVEC NOS ÉLÈVES

## Aux portes de l'espace

Léo Hauser et al.

*Un ambitieux projet conçu et réalisé par des élèves suisses dans le cadre de leur scolarité. L'envoi d'un ballon sonde équipé d'une nacelle contenant des instruments scientifiques permettant de mesurer : la température, la pression atmosphérique, la radioactivité, l'altitude et des données gyroscopiques.*

*Léo Hauser a rédigé ce texte d'après le projet réalisé par Noah Stegmüller, Mario Trieu, Gianni Verillo, Wassim Chedli et Léo Hauser sous la supervision de M. Philippe Drompt, enseignant au Gymnase français de Bienne, dans le cadre de leur travail de maturité.*

### Le projet

Cinq élèves du Gymnase français de Bienne, dans le cadre de leur travail de maturité<sup>1</sup>, se sont lancés comme projet d'envoyer, presque aux portes de l'espace, une nacelle autonome reliée à un ballon capable d'effectuer des relevés scientifiques et également de prendre des images du vol depuis le sol jusqu'à la stratosphère. Il s'agit d'une réelle aventure dans laquelle chaque élément utilisé a été conçu, programmé et testé par les élèves dans les conditions que pourrait rencontrer l'engin.



*Fig.1. Lâcher du ballon le 22 juin 2016 au bord du lac de Bienne.*

L'appareillage a été placé dans une nacelle qui a rencontré un milieu relativement hostile, avec entre autres une température très basse, de l'ordre de -50 °C, une pression presque nulle ou encore un taux de radiations supérieur à 30 fois celui rencontré au sol. Le système électronique devait donc être adapté à un tel voyage et fonctionnel du premier coup.

La nacelle contenant les capteurs et autres instruments, d'un poids de 1,2 kg, a été soulevée par un ballon en latex, rempli à l'hélium, d'un diamètre d'environ 2 mètres au sol. Ils étaient tous deux reliés

par une ficelle, d'une vingtaine de mètres, équipée d'un parachute pour amortir la chute de la nacelle après l'éclatement du ballon à environ 30 000 mètres d'altitude. À titre de comparaison, un avion de ligne vole à une altitude de croisière de l'ordre de 10 km.

Son diamètre augmente au fur et à mesure de sa montée, en raison de la diminution de la pression atmosphérique, pour atteindre la dimension respectable de dix mètres lorsqu'il arrive dans la stratosphère. Évidemment, le latex dont il est constitué ne résiste pas à cette extension et il éclate.



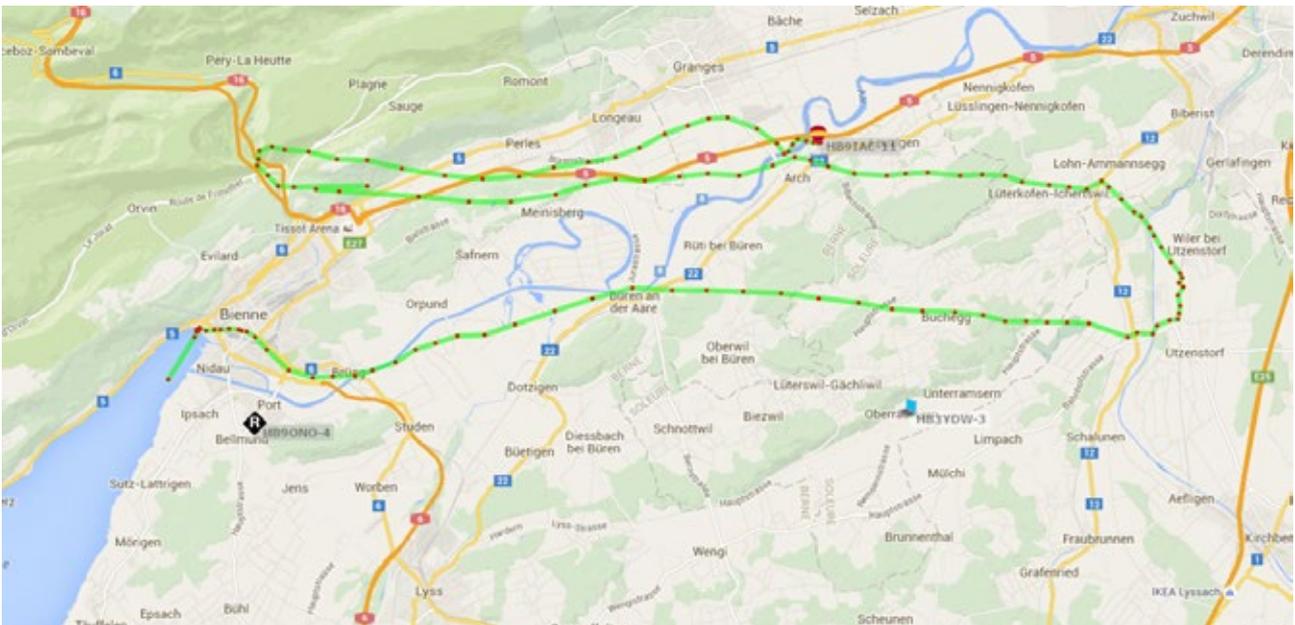
*Fig.2. Le ballon quelques secondes après son lâcher.*

### Le vol du ballon

Le lâcher du ballon s'est déroulé le 22 juin 2016 en raison des excellentes conditions météorologiques de cette journée. En effet, le vent et plus particulièrement les courants d'altitude jouent un rôle crucial pour la réussite de l'expérience, car à une telle altitude le ballon peut sans problème être transporté jusque dans un pays voisin. Ce jour-là, le ballon a pu être récupéré à seulement 15 km du lieu de départ, à Arch.

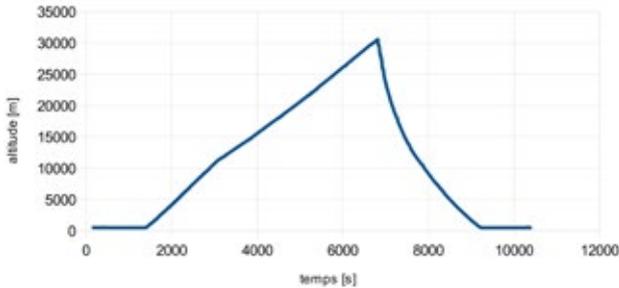
La carte (cf figure 3 sur la page suivante) montre le trajet du ballon en deux dimensions, qui a pu être dessiné grâce aux données recueillies par le GPS embarqué durant le vol.

<sup>1</sup> Équivalent d'un travail de fin de baccalauréat.



**Fig.3.** Le trajet du ballon en 2D (en vert). Les positions enregistrées sont symbolisées par les points rouges.

Les mesures d'altitude, effectuées par le GPS toutes les 10 secondes, montrent que le ballon a effectué une montée très régulière. À 30 500 m, le ballon a éclaté et il est retombé en chute libre jusqu'à ce que le parachute rencontre une densité d'air suffisante pour se gonfler et freiner la descente, d'où la diminution progressive de la vitesse de chute que nous pouvons constater sur le graphique ci-dessous.



**Fig.4.** Graphique représentant l'altitude [m] en fonction du temps [s].

En analysant la montée de la courbe, représentant l'altitude en fonction du temps, nous pouvons constater qu'elle est relativement linéaire. La vitesse moyenne lors de l'ascension était de 6,502 m/s selon les mesures enregistrées par le GPS. Mais nous pouvons aussi constater que la courbe progresse un peu plus rapidement durant les 11 000 premiers mètres, pour finalement diminuer son rythme d'ascension. Ce phénomène peut être expliqué par les courants thermiques ascendants. Le ballon a fini par éclater à l'altitude précise de 30 549 m, comme l'illustre la photo prise juste après l'éclatement par la caméra embarquée.

Pendant la chute de la nacelle, d'une durée de 40 minutes, un module GSM était programmé pour



**Fig.5.** Éclatement du ballon.

envoyer un SMS contenant les coordonnées GPS de la nacelle pour nous permettre de la récupérer. Un nouveau message était envoyé toutes les 40 secondes pour permettre un suivi de la chute. Pour économiser de l'énergie, ils n'étaient envoyés que lorsque le ballon avait atteint une altitude inférieure à 2 000 m d'altitude, l'envoi d'un SMS pouvant utiliser un courant allant jusqu'à 1 A.

La nacelle a finalement été récupérée totalement intacte, avec à son bord toutes les mesures effectuées par les capteurs.



**Fig.6.** La nacelle juste avant d'être récupérée.

## Les mesures pendant le vol

Le but principal de ce projet était l'étude des aspects physiques de notre atmosphère. Le système électronique embarqué était totalement autonome, le tout étant commandé par un microcontrôleur Arduino® MEGA, qui s'occupait de faire fonctionner tous les capteurs grâce à un algorithme que nous avons créé. Voici la liste des types de mesure qui ont été relevés durant le vol :

- la température ;
- la pression atmosphérique ;
- la radioactivité ;
- l'altitude/position de la nacelle ;
- données gyroscopiques.

Chaque type de mesure a été réalisé par un capteur spécifique. L'illustration ci-dessous montre le microcontrôleur relié aux différents capteurs, le tout devant être le plus compact et résistant possible.

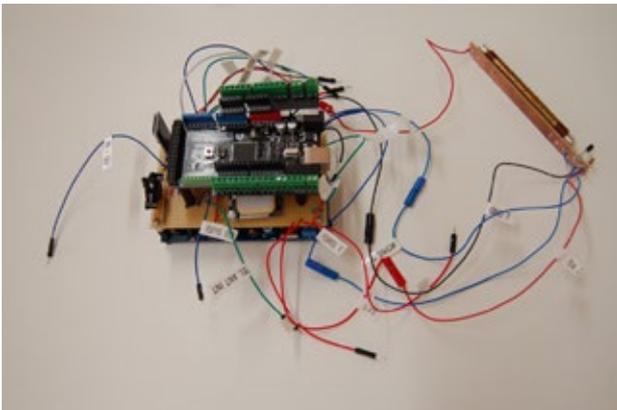


Fig.7. Le système électronique complet hors de la nacelle.

## Le compteur Geiger

Le capteur utilisé pour le vol a été choisi en fonction des circonstances auxquelles il devra faire face. Il ne faut pas oublier que l'atmosphère est un milieu relativement hostile et il ne faut surtout pas négliger que le rayonnement mesuré en haute altitude n'est pas de même intensité que celui que nous trouvons au sol. Le capteur qui a pu répondre à toutes ces exigences à un prix très raisonnable est le : « Geiger Counter Radiation Detector ver.3 ». D'une part, il fournit au tube Geiger une tension de 400 V et d'autre part, il utilise un courant faible allant de 30 à 60  $\mu$ A. Ce capteur possède également une bonne précision de détection et une fiabilité d'environ 1 mSv/h.

Le tube Geiger (SBM 20), capable de détecter les rayonnements bêta et gamma, est un cylindre métallique rempli d'un gaz à basse pression isolant (néon, vapeur de brome et argon). À l'intérieur du tube se trouve une électrode sous forme d'un

fil métallique, aussi appelée anode, tandis que la cathode longe la paroi du tube et représente la borne négative. En principe, quand le capteur est au repos, aucun courant ne circule entre la cathode et l'anode.

Mais lorsqu'une particule ionisante traverse le tube, elle arrache un ou plusieurs électrons appartenant aux atomes du milieu gazeux. Le gaz devient ainsi conducteur pendant un court instant. Ce phénomène a pour effet de faire passer un courant entre les deux électrodes. Les données sont ensuite envoyées au microcontrôleur Arduino qui comptera le nombre de coups reçus.



Fig.8. Le compteur Geiger utilisé pour les mesures  
Source : <http://www.rhelectronics.net>.

L'algorithme utilisé pour travailler avec ce compteur Geiger est relativement simple. Pour le microcontrôleur il s'agit « d'écouter » le compteur Geiger pendant 10 secondes et d'incrémenter une unité à une variable chaque fois qu'un rayonnement est détecté par le tube. La variable est tout d'abord enregistrée puis remise à zéro au début de chaque cycle. Le fonctionnement du code faisant fonctionner tous les capteurs, bien que plus complexe, est toujours basé sur ce système de cycle de 10 secondes. Cette durée a été choisie pour rendre l'analyse des données de vol plus aisée.

## La température

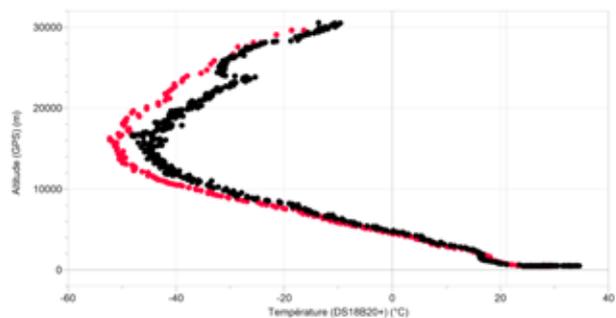


Fig.9. Graphique représentant l'altitude [m]  
en fonction de la température [°C].

Le graphique ci-dessus présente les températures recueillies durant le vol, les points noirs représentant les mesures lors de l'ascension et les rouges celles de la descente.

À première vue, nous pouvons déjà observer que le capteur a pris moins de mesures à la descente qu'à la montée. Ceci vient du fait que la vitesse verticale du ballon était plus importante en descente qu'en montée. Le capteur avait donc moins de temps à disposition pour prendre ces valeurs. Nous pouvons donc imaginer que les valeurs prises lors de la montée sont plus précises. Le décalage de température entre la montée et la descente vient probablement d'un changement de température de l'atmosphère entre l'ascension et la chute de la nacelle.

## De 500 à 10 000 mètres

L'altitude de 500 m correspond au lâcher du ballon. La température diminue presque linéairement avec l'altitude dans cet intervalle. Plusieurs facteurs sont la cause de ce phénomène. Pour commencer, la Terre absorbe une bonne partie de l'énergie solaire, cela réchauffe la surface terrestre. Il est donc sensé de dire que plus nous nous éloignons de la chaleur rayonnée par la Terre plus la température va diminuer. Une autre raison importante est la propriété des gaz. En effet, lorsqu'un volume d'air se dilate, il a tendance à se refroidir. À 10 000 m d'altitude, la température était déjà de  $-30,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sachant qu'elle dépassait les  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  au sol.

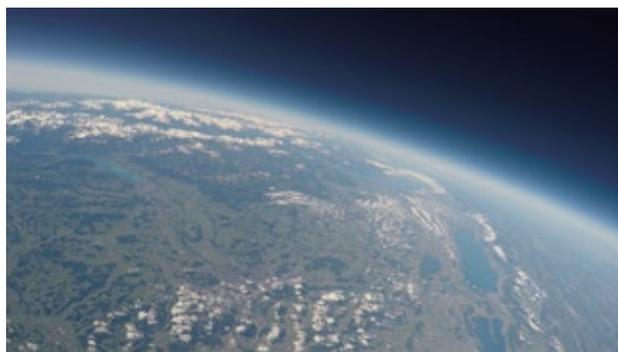
## De 10 000 à 20 000 mètres

Nous observerons qu'à partir de 10 000 m, la température diminue de moins en moins rapidement, jusqu'à ce que nous arrivions à une température presque constante, entre 12 000 et 18 000 m environ. Après cela, elle recommence à augmenter.

La stratosphère commence aux alentours de 10 000 m. Elle comporte la couche d'ozone qui débute à environ 20 000 m, cette couche a la caractéristique d'absorber une grande partie des radiations provenant du rayonnement ultraviolet du Soleil, ce qui va engendrer un réchauffement. Le bas de la stratosphère est en équilibre entre la chaleur transmise par la couche d'ozone et celle absorbée par la troposphère, la troposphère étant la première partie de l'atmosphère (0 à 10 000 m).

## De 20 000 à 30 000 mètres

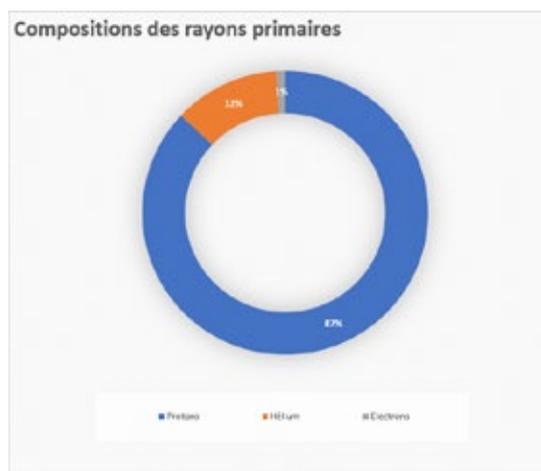
La température va augmenter aux alentours des 20 000 m. Dans cette plage d'altitude, nous nous trouvons en pleine couche d'ozone, qui a la particularité de chauffer. La température a atteint  $-9,63\text{ }^{\circ}\text{C}$  juste avant l'éclatement du ballon.



*Fig.10. Vue prise par la caméra à 30 km d'altitude sur le plateau suisse et les Alpes.*

## La radioactivité dans l'atmosphère

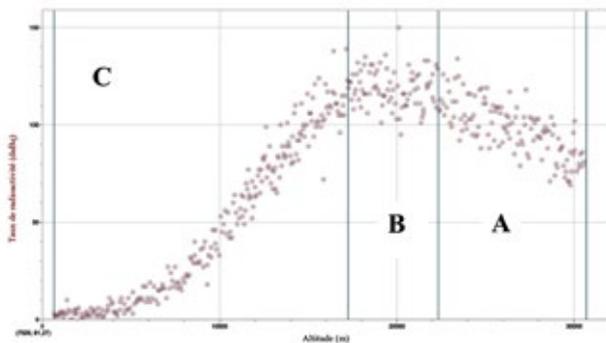
L'intérêt premier de mesurer la radioactivité dans l'atmosphère est l'étude des rayonnements cosmiques. Ils sont constitués de particules ultra-énergétiques, pouvant atteindre  $10^{20}\text{ eV}$ . Ils proviennent de l'espace interstellaire et intergalactique et sont composés majoritairement de protons.



Lorsqu'ils pénètrent dans l'atmosphère, ils bombardent les noyaux d'azote et d'oxygène et produisent une gerbe de particules secondaires. Celles-ci reçoivent une partie de l'énergie des rayons primaires et entrent en collision avec d'autres noyaux pour créer à leur tour d'autres particules et ainsi de suite jusqu'à la surface de la Terre.

De ce fait, le nombre de particules va croître dans les moyennes altitudes, mais leur énergie diminuera progressivement en raison de leur absorption par les molécules toujours plus denses. Cela dit, le rayonnement cosmique a une très faible probabilité d'atteindre le sol. En basse altitude les particules sont très lentes. Ces dernières sont essentiellement composées de muons et de photons. La pression atmosphérique joue également un rôle dans le freinage des particules traversant l'atmosphère.

Le graphique ci-après donne une belle représentation des mesures effectuées par le compteur Geiger embarqué. Dans la première partie (A), allant de 31 km à 23 km, le taux de radioactivité augmente progressivement passant de 81 à 101 daBq. Les particules se trouvant dans cette tranche sont partiellement constituées de protons issus du rayonnement primaire. Il y a également formation de gerbes secondaires. Par conséquent, le nombre de particules radioactives augmente, ce qui peut expliquer la croissance du taux de radioactivité.



**Fig.11.** Graphique représentant le taux de radioactivité [daBq] en fonction de l'altitude [m].

Dans la seconde partie (B), le taux se stabilise légèrement entre 22 et 18 km. La courbe atteint son maximum à 20 km d'altitude, pour un taux de

150 daBq. Nous y trouvons un équilibre entre les particules nouvellement créées et celles retenues par les molécules de l'air. Finalement, durant la dernière partie (C), le taux de radioactivité connaît une nette décroissance. Nous parlons dans ce cas d'une absorption atmosphérique. Les particules n'ont plus assez d'énergie pour entrer en collision avec les molécules atmosphériques qui sont toujours plus denses. La pression atmosphérique augmente dans les basses altitudes et les particules radioactives vont être progressivement freinées et réduites à néant. Seuls les muons et d'autres particules partiellement énergiques pourront atteindre la surface de la Terre.

### Pour conclure

Malgré les quelques inévitables difficultés, je pense que le groupe et moi-même pouvons être extrêmement satisfaits du travail accompli. La nacelle était certes préparée à un vol stratosphérique, mais dès lors que le ballon avait quitté le sol, nous n'étions plus maîtres de quoi que ce soit. Je pense que ce travail de maturité a été particulièrement enrichissant, par l'interdisciplinarité qu'il proposait et cela a été vraiment gratifiant de voir que ce travail de longue haleine a pu porter ses fruits et ouvrir de nouvelles perspectives d'étude. ■