

BENOIT Laurent
BERTRAND Cédric
FAUQUE Sarah
HENRY Guillaume
MARIE Baptiste

Callisto

LA TÊTE DANS LES NUAGES

LANCEMENT D'UN BALLON SONDE



Sommaire

<u>Résumé</u>	p 3
<u>A- Introduction</u>	p 4
<u>B- Notre Question</u>	p 5
<u>1.Les études actuelles sur l'ozone</u>	
<u>2.Les mesures d'ozone</u>	
<u>3.Pourquoi étudier le taux d'ozone ?</u>	
<u>4.Que pouvons-nous apporter de plus ?</u>	
<u>C- Les expériences</u>	p 8
<u>1.Le calendrier</u>	
<u>2.Comment avons-nous fait ?</u>	
<u>D- Les problèmes survenus et les solutions pour les résoudre.</u>	p 19
<u>E-. Résultats : Exploitation des mesures du kiwi</u>	p 21
<u>F- Conclusion</u>	p 24

Résumé.

Notre atelier Callisto consistait au lâcher d'un ballon sonde dans l'atmosphère à une altitude de 30 km. Notre objectif principal était de faire différentes mesures concernant les couches traversées par notre ballon, notamment un relevé de la concentration en ozone, mais aussi de la température et de la pression.

Nous avons également embarqué dans la nacelle un appareil photo afin d'avoir des images de la Terre vue du ciel. Nous avons innové en faisant un repérage du ballon par triangulation. La plupart des éléments utiles aux différentes manipulations ont été conçus par les élèves du projet et ceci dans une durée très limitée.

Cette expérience fut un moment fort en émotion et ponctuée de nombreux rebondissements.

A- Introduction

Dans le cadre d'une sortie pédagogique, deux classes de terminales (l'une d'Orange l'autre de Cavaillon) se sont rassemblées dans la semaine du 28/11/05 au 04/12/05 pour se rendre à l'observatoire Saint-Michel. Différents groupes de travail ont été formés et notre objectif concernait la géophysique. Nous avons pour projet d'étudier les comportements atmosphériques suivant l'altitude avec l'aide de scientifiques. Pour cela nous avons lancé un ballon sonde capable de calculer les différentes caractéristiques qui nous intéressaient, c'est-à-dire la température, la pression atmosphérique et surtout le taux d'ozone.

En effet, on a constaté depuis quelques années, une détérioration importante de la couche d'ozone et la découverte d'un trou d'ozone en 1984 sont des facteurs très inquiétants car l'ozone est indispensable à notre survie. C'est pourquoi il est nécessaire de surveiller son évolution. Une sonde ozone qui nous a été confiée par l'OHP (Observatoire de Haute Provence), a donc été intégrée dans notre nacelle.

Il faut savoir que nous étions chargés de la conception de la nacelle seulement, car le ballon et les autres éléments (parachute et réflecteur radar, corde) qui le composent sont soumis à un cahier des charges intransigeant et des lois très rigoureuses. Le CNES (centre national d'études scientifiques), nous a donc cordialement fourni ce matériel.

Notre désir d'innover nous a amené à rechercher des dispositifs non utilisés par les scientifiques professionnels afin de faciliter notre recherche pour la récupération de la nacelle. Pour cela, nous avons réalisé 4 antennes directionnelles pour repérer cette nacelle. Ces antennes, grâce au signal émis par la nacelle, nous permettent de savoir à peu près la position de cette dernière.

Pour plus d'efficacité, nous nous sommes répartis les tâches. Trois ateliers ont été constitués :

- il y avait un atelier pour la construction de la nacelle, du dispositif pour prendre des photos et pour connaître l'instant de l'éclatement du ballon (Cédric et Sarah)
- un autre atelier consacré à la construction des antennes et à la réalisation des prévisions de vol (Baptiste et Laurent)
- le dernier atelier s'occupait de tout ce qui était lié au circuit électronique (construction, réglages, ...) (Guillaume) .

Cependant les ateliers n'étaient pas rigides, chacun pouvait aller et venir d'un atelier à l'autre pour aider, ce qui nous a permis d'en apprendre beaucoup plus.

B- Notre Question

1-Les études au niveau de l'ozone qui se font actuellement :

L'OHP (Observatoire de Haute-Provence), est un lieu où beaucoup d'expériences sont réalisées. Parmi celles-ci, l'OHP pratique chaque semaine un calcul du taux d'ozone dans l'atmosphère, grâce à un ballon sonde. Il est équipé d'un capteur d'ozone qui est relié à un émetteur, ce dernier envoie les données en temps réel. Grâce à une antenne, le centre récupère les données et les analyses sur ordinateur. Les analyses qui sont faites sont transmises au monde entier. Le seul moyen pour l'OHP de récupérer ses ballons sondes c'est de mettre un mot sur la nacelle, avec le numéro de téléphone de l'observatoire et l'adresse et d'espérer qu'une personne découvre la nacelle et appelle le centre. Cette méthode leur permet de récupérer en moyenne trois ballons sur cinq.

2-Les mesures d'ozone :

Il faut savoir qu'il existe d'autres méthodes pour calculer le taux d'ozone en fonction de l'altitude, grâce à un Lidar (Light Detection And Ranging) par exemple. Ce dernier est un faisceau laser qui va jusqu'à 90 km d'altitude, l'ozone est calculée grâce à l'absorbance qu'il a sur le rayon. Il suffit donc d'envoyer deux faisceaux laser différents l'un se faisant absorber par l'ozone et un autre pour lequel l'ozone n'a aucune conséquence. On compare par ordinateur les deux spectres, suivant la quantité d'ozone le laser sera plus ou moins absorbé, permettant de voir le taux d'ozone.

3-Pourquoi étudier le taux d'ozone ?

L'ozone joue un rôle important :

-d'une part il joue un rôle protecteur pour les organismes vivants en filtrant le rayonnement solaire UV.

-d'autre part du fait de ses propriétés d'absorption des rayonnements solaires et telluriques, il intervient dans l'équilibre thermique de la stratosphère et participe dans la troposphère à l'effet de serre.

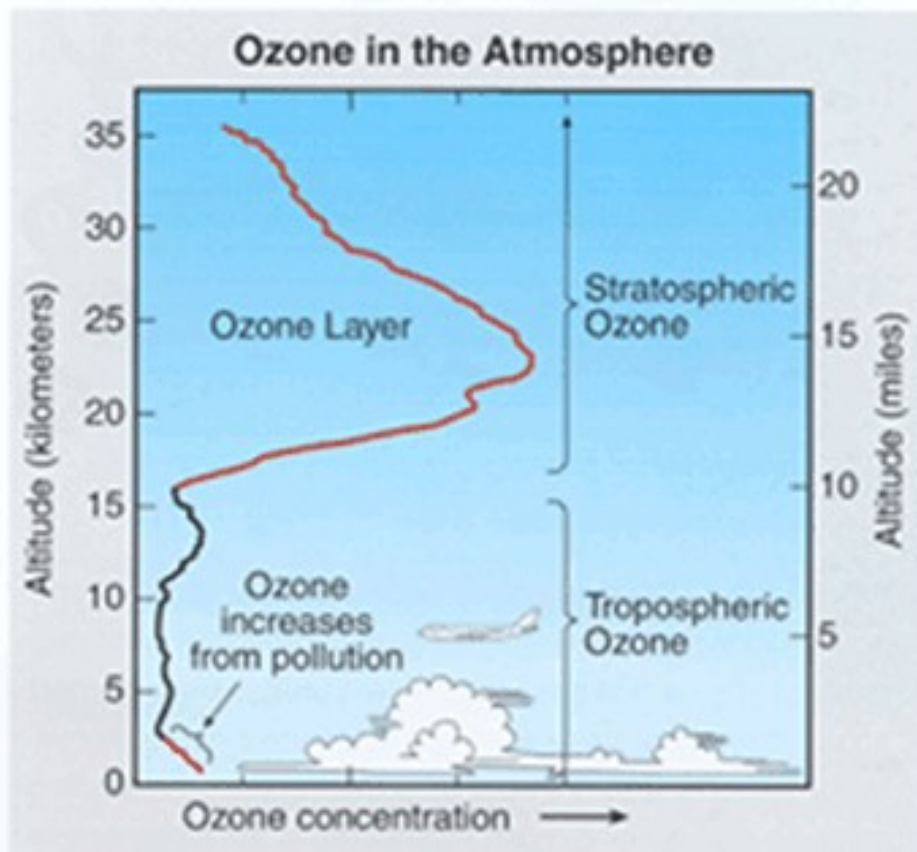


Schéma concentration d'ozone en fonction de l'altitude

March total ozone

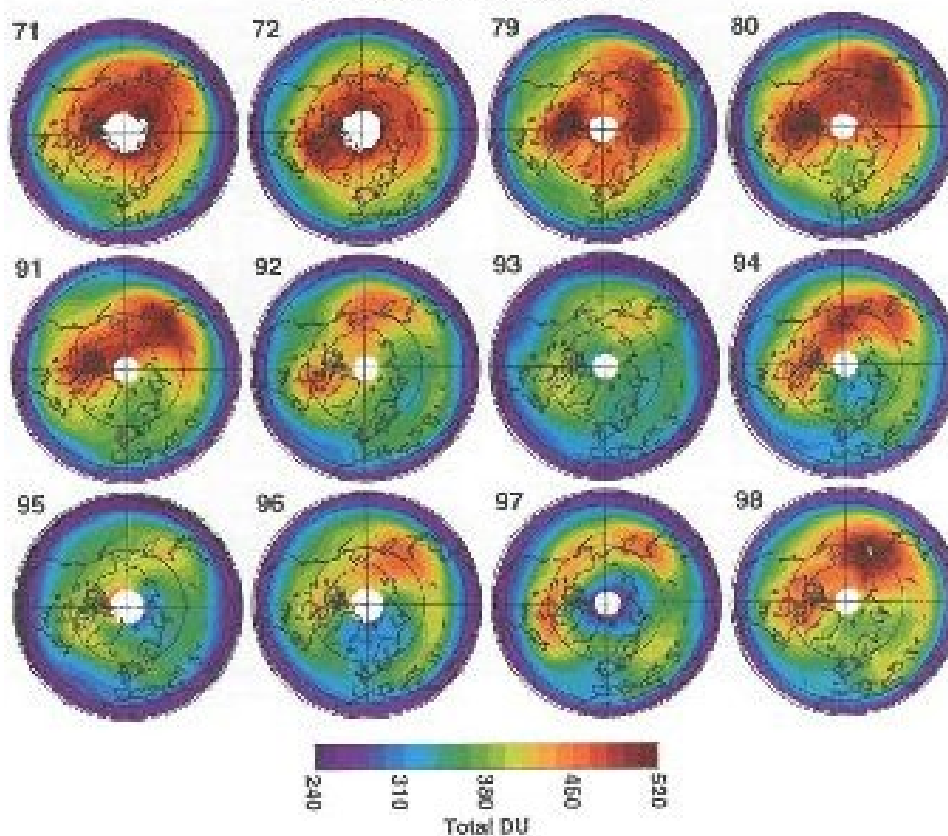
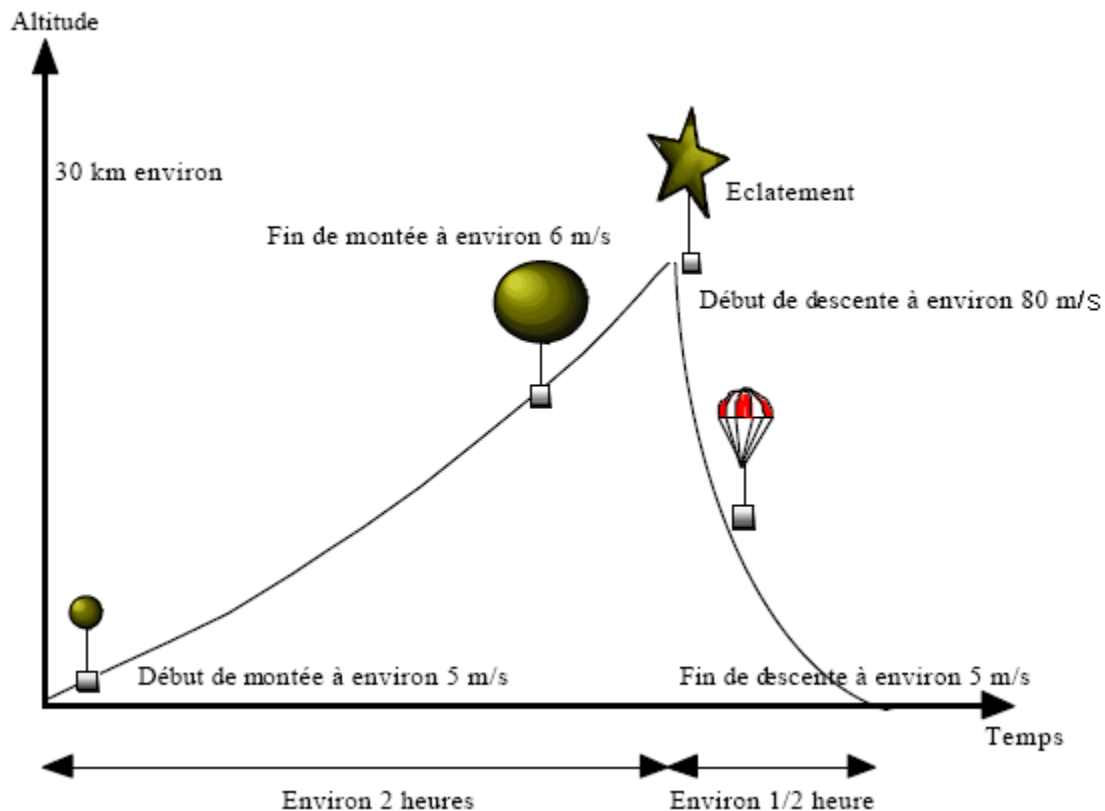


Schéma évolution ozone en fonction des années

Comme nous le voyons ci-dessus la couche d'ozone se dégrade de plus en plus de nos jours, en effet au fur et à mesure des années, la quantité d'ozone présent à forte concentration dans la stratosphère diminue. Cet appauvrissement de l'ozone dans l'atmosphère est dû à une trop grande pollution (CFC : chlorofluorocarbones). L'ozone est vital pour les êtres vivants, nous sommes donc face à un problème majeur qui concerne la Terre entière. Nous nous sommes donc intéressés à un sujet d'actualité, pour notre expérience.

4-Que pouvons nous apporter de plus ?

L'un des problèmes majeurs des ballons sonde de l'OHP, c'est la trop grande perte de ballon sonde. Même si cela n'a aucun intérêt pour les mesures d'ozone, de température, de pression, nous voulions améliorer les chances de récupération du ballon. Pour cela nous avons pensé mettre un émetteur dans notre nacelle, grâce au principe de la triangulation on doit pouvoir calculer sa position en temps réel (nous détaillerons ce principe de triangulation dans le paragraphe C). Ensuite, afin d'avoir encore plus de précision pour la localisation du ballon, nous avons pensé repérer le moment où le ballon éclate.



Courbe type du vol d'un ballon sonde.

Le ballon tombe quasiment verticalement une fois qu'il a éclaté, donc si on connaît la position du ballon, et le moment où il éclate, on saura approximativement sa position au sol.

C-Les Expériences

1. le calendrier (préparation du stage / fiches synthèse / documentation)

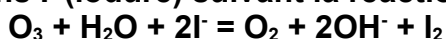
Les activités lors du stage, ont été longuement étudiées au préalable, sans quoi, nous n'aurions jamais pu accomplir la grande quantité de travail durant la semaine. Plusieurs fois, nous nous sommes réunis pour résoudre des problèmes, nous documenter, débattre etc... Nous nous sommes échangés beaucoup d'informations et de documents grâce à Internet. La liaison entre Cavillon et Orange était donc possible à tous moments.

Le premier jour de notre stage, nous avons dû nous organiser rapidement car, face à la montagne de travail que nous devons fournir en une semaine, les pertes de temps étaient déconseillées. Nous nous sommes donc rapidement réparti les tâches: le travail fût divisé en plusieurs groupes. C'était à nous, élèves, de décider par où commencer, donc au préalable, une réflexion s'imposait. Notre travail était appuyé par des professionnels mais aussi par de la documentation. Durant cette semaine beaucoup d'incompréhensions ont été levées.

2-Comment avons-nous fait ?

-Pour la sonde ozone:

La sonde ozone est une pile électrochimique : la migration d'électrons apparus à l'arrivée de l'ozone crée un courant électrique. Elle est donc composée d'une pompe à air, d'une cathode et d'une anode plongées dans une solution spécifique et reliées par un fil électrique. L'anode et la cathode baignent dans une solution d'iodure de potassium au départ. La pompe aspire l'air situé à l'extérieur de la nacelle pour l'injecter dans la solution cathodique. Cela provoque une réaction d'oxydoréduction entre les molécules O₃ (ozone) présentes dans l'air et les ions I⁻ (iodure) suivant la réaction chimique :



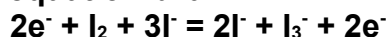
La solution cathodique s'enrichit en I₂. Au niveau de la cathode se produit alors la réaction chimique de réduction suivante :



Enfin au niveau de l'anode les ions iodures subissent une oxydation :



La solution cathodique consomme donc des électrons alors que la solution anodique produit des électrons. Ces électrons se déplacent d'une solution à une autre grâce au chemin métallique que crée le fil électrique. On peut finalement faire l'équation bilan :



Il ne faut pas oublier que cette réaction est provoquée par l'introduction d'ozone au niveau de la cathode. Ce qui donne la relation suivante : 1 molécule O_3 donne la circulation de $2e^-$. L'ozone influence directement le courant qui traverse le fil électrique (les électrons sont responsables de la circulation du courant). La concentration en ozone aux alentours du ballon est donc proportionnelle au courant traversant le fil.

L'émetteur KIWI ne pouvant que nous envoyer des tensions, il a fallu traduire l'intensité du courant produite par la pile électrochimique en tension. Nous avons donc conçu et réalisé avec l'aide des techniciens du laboratoire d'électronique de l'O.H.P un convertisseur courant-tension.

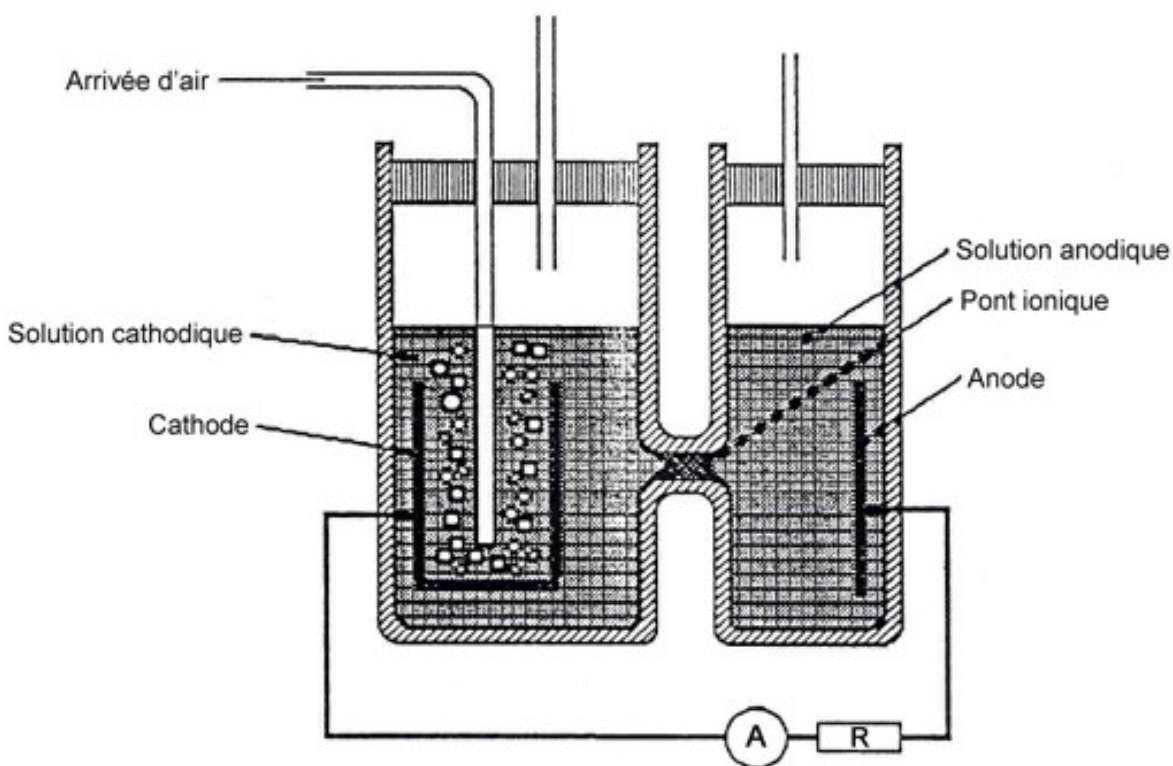


Schéma de la pile électrochimique.

-Pour la triangulation:

-Principe :

Il existe différents principes permettant de repérer un objet dans l'espace par triangulation grâce aux ondes radios qu'il émet, en voici deux.

La première manière consiste à utiliser des antennes directionnelles (c'est-à-dire une antenne capable de capter les ondes diffusées par un émetteur quelconque dans la direction de son axe) ; l'orientation pour laquelle le signal est le plus fort donne la direction de l'émetteur, il suffit alors de faire plusieurs relevés simultanés en différents points pour avoir la position de l'émetteur. On connaît alors l'angle de deux ou trois droites par rapport à une droite de référence, on trace alors ces trois droites et à l'intersection on obtient la position de l'objet que l'on étudie.

La deuxième méthode consiste à utiliser l'intensité du signal collectée par une antenne non directionnelle. Si le milieu de propagation est homogène, l'intensité diminue selon le carré de la distance. L'intensité permet donc d'estimer la distance, et donc de situer l'émetteur sur un cercle centré sur le récepteur. Un deuxième récepteur permet de tracer un second cercle, l'émetteur se trouve donc à l'intersection des deux cercles ; un troisième récepteur permet de déterminer lequel des deux points d'intersection est le bon. Il faut alors avoir défini au préalable la courbe qui associe l'intensité de l'émetteur utilisé à la distance qui le sépare du récepteur.

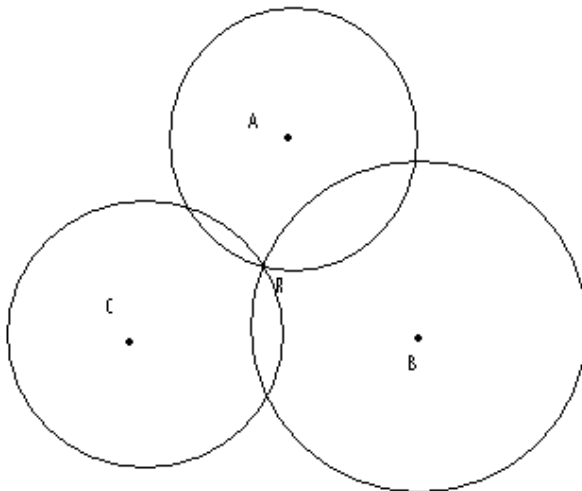


Schéma explicatif :

Avec A, B et C trois récepteurs
R l'intersection des trois cercles de centres A, B et C, et donc R position de l'objet émetteur du signal sonore.

On comprend ici la nécessité du tracé de trois cercles.

Nous avons utilisé le premier principe car il était plus simple à mettre en place, contenu du fait que la forte distance rendait les variations d'intensité peu précises et que nous aurions du tracer des sphères, car le ballon évolue dans un univers en 3D, et non sur un plan comme sur le dessin précédent.

L'OHP retrouve approximativement trois ballons envoyés sur cinq. Nous avons donc voulu réaliser une radiogoniométrie (triangulation par radio) pour faciliter la récupération. Ce principe consiste à placer un émetteur dans le ballon que nous envoyons et à le repérer grâce aux ondes qu'il émet. Pour cela nous avons fabriqué quatre antennes directionnelles permettant de recevoir ces ondes. Cela nous donne la direction dans laquelle se trouve le ballon. Il nous faut trois points fixes, desquels nous traçons des droites et à l'intersection de ces trois droites nous obtenons la position de l'objet à l'instant donné.

-Conception d'une antenne directionnelle

Pour la construction de l'antenne nous nous sommes renseignés et avons trouvé un plan de fabrication. Ce dernier utilise un rapport entre la fréquence de l'onde et la longueur des branches (se trouvant sur le schéma ci-dessous) ce qui nous a permis de construire une antenne captant n'importe quelle fréquence. Nous avons choisi une fréquence de 100 MHz car elles peuvent être reçues avec un simple récepteur radio. L'antenne se compose de 5 branches en aluminium de différentes longueurs. Nous nous sommes rendus dans des magasins d'outillage pour nous procurer les tubes en aluminium nécessaires à sa construction. Ne trouvant pas de tube de plus de 1m nous avons décidé de prendre des tubes de section variable et emboîtables les uns dans les autres. Après divers essais et calculs nous avons élaboré un plan de construction précis basé sur le matériel dont nous disposions.

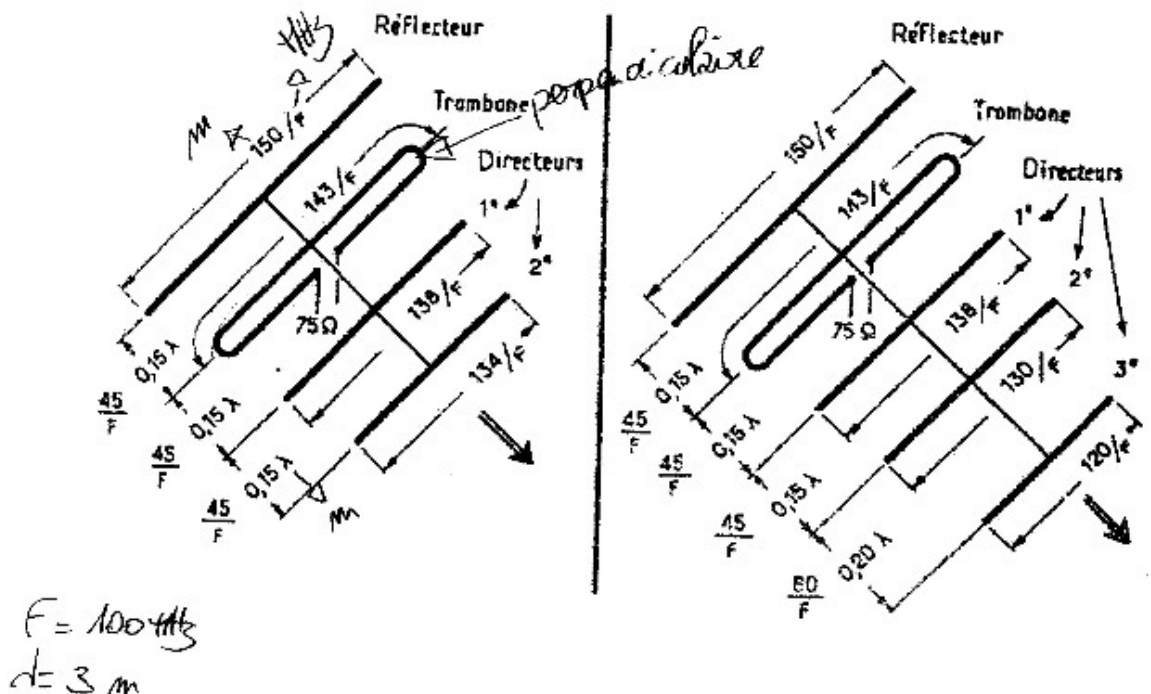


Schéma de construction des antennes Yagi à cinq ou quatre branches

De plus, la triangulation ne permettant pas une très grande précision, nous avons intégré un émetteur sonore pour pouvoir repérer le ballon une fois celui-ci au sol. Par un jeu entre la valeur du condensateur et la valeur des résistances, nous avons réussi à lui faire émettre un son discontinu qui est plus facile à entendre.

-Pour détecter le moment de l'éclatement du ballon :

Afin de mieux repérer le ballon au sol, il est préférable de savoir à quel moment le ballon éclate. Cette information nous permet, en effet, de réduire considérablement le périmètre dans lequel il est susceptible d'atterrir, ce qui facilite sa récupération.

Nous nous sommes donc penchés sur ce problème. De multiples solutions ont été trouvées mais la plupart ont été rejetées.

Une des premières idées fut de poser un micro sur la nacelle mais le manque d'air rendait l'opération impossible. En effet, les ondes sonores ne peuvent pas se propager à 30km d'altitude.

D'autres idées nous sont alors venues à l'esprit mais toutes ont été abandonnées du fait du cahier des charges extrêmement exigeant.

Finalement, pour connaître l'instant de l'éclatement et donc du début de la descente, nous avons mis au point un système utilisant l'impesanteur comme déclenchement. Pour cela, nous avons construit un circuit électrique.

Ce circuit est constitué de deux résistances, de trois condensateurs, d'un timer NE 555 et d'un interrupteur (micro switch) que nous avons dû modifier. En effet, au bout de sa lame, nous avons collé une petite masse ce qui maintient l'interrupteur en position fermée, grâce au poids de la masselotte. Ces éléments ont été soudés sur un tipon (circuit gravé sur une plaque de cuivre photosensible) et directement connecté à l'émetteur kiwi.

Pendant toute l'ascension du ballon l'interrupteur reste donc fermé et aucune tension ne nous est transmise par kiwi. Lors de l'éclatement du ballon, l'intérieur de la nacelle subit momentanément l'impesanteur du fait de sa chute libre. Dans cet état, un corps ne subit plus les forces de gravitations. Le poids de la masselotte ne s'exerce donc plus sur cet objet, la masse va "flotter" ce qui met l'interrupteur en position ouverte et ce, durant toute la durée de l'impesanteur. Le courant parcourt alors le circuit et kiwi nous transmet une tension.

Cette tension non seulement nous indique l'instant où le ballon éclate mais aussi les trous d'air que la nacelle a rencontré durant sa montée.

-Pour l'altitude :

Certaines autres mesures embarquées dans la nacelle étaient présentes principalement afin de pouvoir utiliser les résultats de l'expérience sur l'ozone : ce sont les mesures d'altitude et de température.

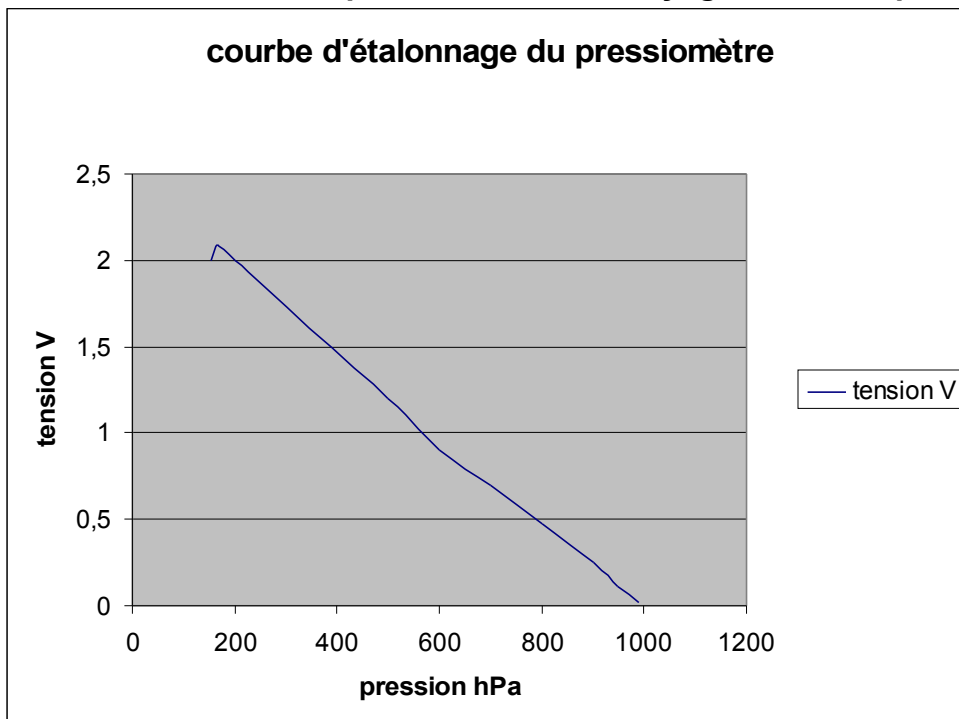
Le principe de mesure de l'altitude est assez simple : on utilise un pressiomètre qui produit une tension à sa sortie variant en fonction de la pression à l'intérieur du ballon, et donc de l'altitude du ballon. Cette tension est ensuite envoyée à l'ordinateur par l'intermédiaire du système KIWI, et peut être exploitée afin de nous fournir différents types d'informations que nous voulions avoir.

Le capteur de pression a été installé dans notre nacelle pour différentes raisons:

- Cette mesure est surtout utilisée en parallèle avec la mesure d'ozone : la concentration en ozone sans altitude serait difficilement exploitable, car il y aurait une incertitude assez importante sur la position du ballon, sa vitesse d'ascension étant variable.

- Afin de combler un manque de notre technique de triangulation : en effet, la triangulation nous donne uniquement la projection orthogonale du ballon au sol, c'est à dire sa position "sur une carte". Grâce au capteur de pression et aux mesures déjà existantes sur la pression atmosphérique, on peut donner une dimension spatiale au suivi du ballon et ainsi permettre la création de l'animation 3D du voyage.

La détermination de l'altitude était donc nécessaire afin de pouvoir exploiter les résultats de l'expérience principale et devenait donc indispensable au bon fonctionnement de notre projet, et avait aussi un autre intérêt moins fondamental : celui de pouvoir recréer le voyage du ballon par informatique.



Courbe d'étalonnage de la sonde.

Elle a été réalisée avec une cloche à vide qu'il a fallu extrapoler vers les pressions inférieures à 150 hPa car la cloche ne pouvait supporter de telles pressions.

-Pour la température :

La mesure de la température a nécessité la création d'un circuit électronique simple :

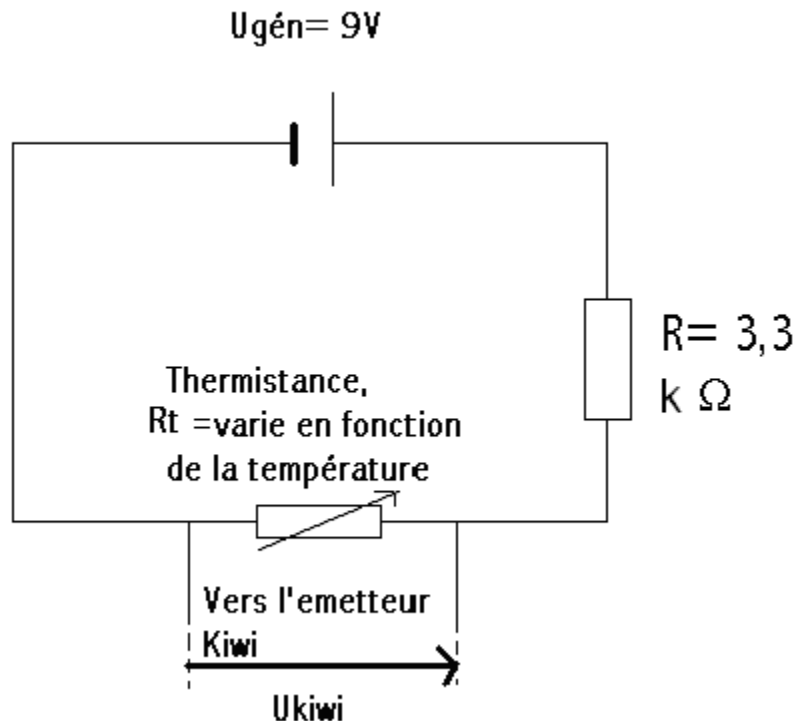


Schéma du circuit électrique de la thermistance.

La thermistance est un conducteur ohmique dont la résistance varie en fonction de sa température. Grâce à la mesure de sa résistance, on pouvait en déduire la température extérieure en utilisant la formule :

$$R = R_0 \cdot e^{B(1/T - 1/T_0)}$$

avec R comme étant la valeur de la résistance à un instant donné,

R₀ la résistance à T₀ = 298 K

et B une constante tel que $B = T_1 \cdot T_2 / (T_2 - T_1) \cdot \ln(R_1 / R_2)$. Il suffit de mesurer deux valeurs de la résistance R₁ et R₂ à des températures connues T₁ et T₂ pour déterminer B.

Cette thermistance a été installée à l'extérieur de la nacelle, afin de mesurer la température de l'atmosphère. Elle ne pouvait pas être mise dans la nacelle car celle-ci est faite avec des matériaux qui sont des isolants thermiques, et ne pouvait pas être trop proche non plus car la nacelle dégageait une certaine quantité de chaleur due à la grande différence de température entre l'atmosphère

et la nacelle. La deuxième résistance du circuit était présente pour d'une part empêcher la thermistance de chauffer par effet joule en divisant l'intensité du courant qu'elle recevait, et d'autre part pour réguler la valeur de la tension du circuit, le système KIWI ne pouvant pas assimiler des tensions supérieures à 5V.

La température de l'atmosphère était mesurée pour deux raisons :

-Pour une meilleure connaissance des différentes couches de l'atmosphère.

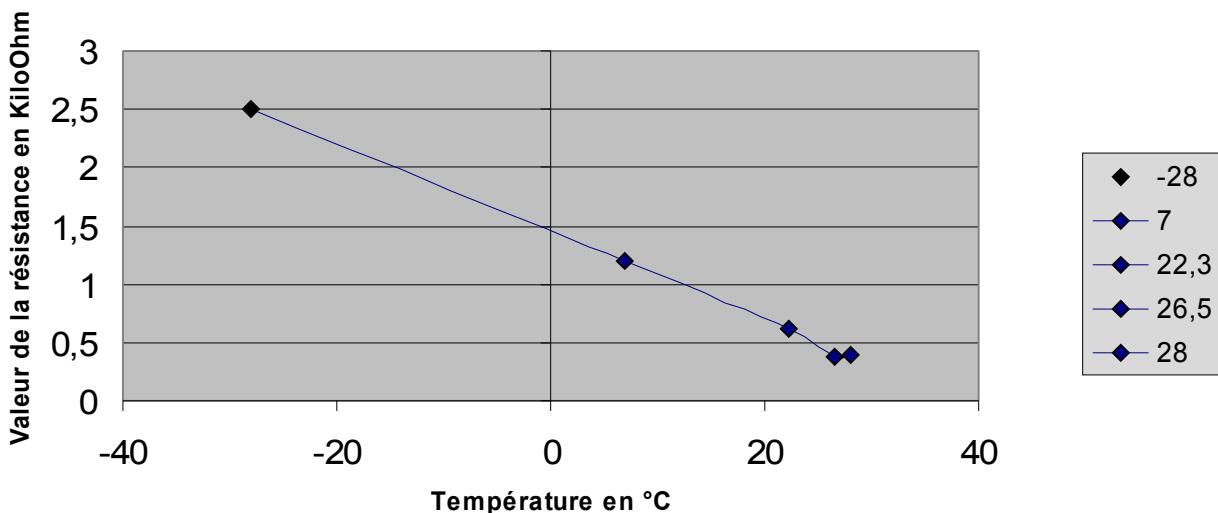
-Afin de pouvoir utiliser les informations de la sonde ozone : on pourrait alors utiliser une courbe de température en fonction de l'altitude déjà établie par d'autres scientifiques pour déterminer l'altitude du ballon.

La connaissance de la température avait un rôle moindre que celle de l'altitude, mais permettait de minimiser les risques de défaillance d'un des systèmes, et comportait tout de même aussi un rôle informatif : connaître un des paramètres de condition de vol du ballon.

La formule qui permet de trouver la tension mesurée par le Kiwi en fonction de la résistance due à la température (R_t), de la résistance mise dans le circuit (R) et de la tension aux bornes du générateur est :

$$U_{(kiwi)} = [R_t \times U_{(gen)}] / (R + R_t)$$

Valeur de la résistance de notre thermistance en fonction de la température



On modélise cette courbe par $R_{(t)} = 1.5 - 0.035 T$ avec $R_{(t)}$ en $k\Omega$ et T la température en $^{\circ}C$.

-Photos :

Nous avons utilisé un appareil photo analogique motorisé, nous permettant de prendre des photos régulièrement. Le fait qu'il soit analogique et non pas numérique est un choix réfléchi, en effet un appareil numérique ne résiste pas aux basses températures, un appareil photo analogique est plus résistant à ces basses températures mais vers -50°C il a des risques de ne plus fonctionner. Or notre ballon sonde s'est retrouvé dans des situations où la température était à -55°C (elle s'atteint dans la tropopause : 12 km d'altitude). Afin d'augmenter cette température, nous avons entouré la nacelle d'une couverture de survie permettant de capter la chaleur et de l'emmagasiner. Nous avons également fait notre nacelle en polystyrène, qui est un bon isolant thermique.

Une fois le problème de la température résolu, un deuxième obstacle s'est présenté à nous, celui du positionnement de l'appareil dans la nacelle. Comme nous voulions prendre des photos de la terre et de l'espace en même temps, nous avons décidé d'incliner un peu l'appareil vers le bas. Lors de l'ascension du ballon, la nacelle subit beaucoup de turbulences et l'appareil ne doit, en aucun cas, être décalé car le système automatisé et la position dans la nacelle ont été minutieusement calculés, le moindre décalage empêcherait de prendre des photos. A partir de plusieurs morceaux de polystyrènes nous avons fixé l'appareil et installé le système automatique de la manière suivante :

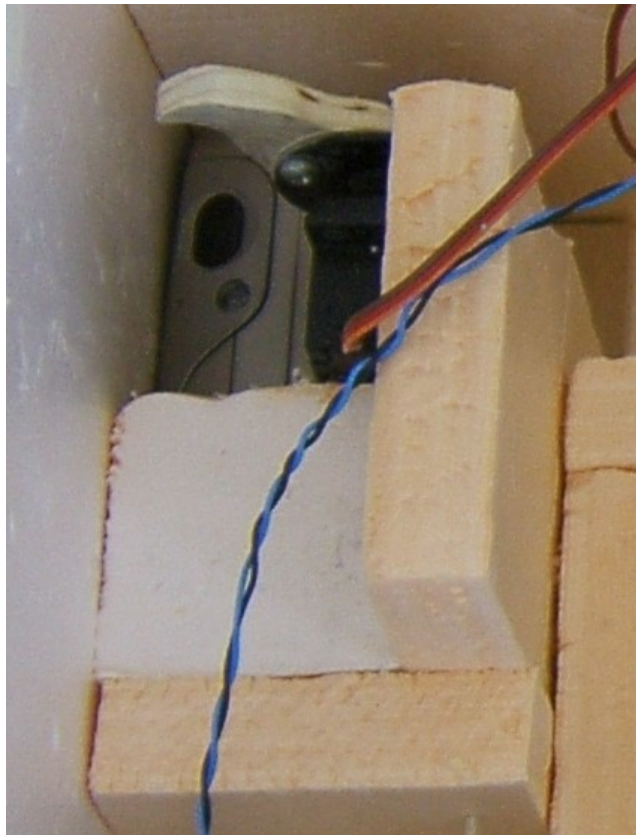


Photo de l'appareil photo en place dans la nacelle.

Le système automatisé permettant de prendre des photos est composé d'un circuit électronique (que Guillaume a fait grâce à une documentation) qui commande un cerveau moteur. Il nous a fallu réfléchir à quel matériau utiliser pour faire le doigt qui appuiera sur le déclencheur. Nous avons opté pour une pièce en bois car ce matériau est très facile à modeler. Une fois la pièce faite, l'installation du système automatique nous a posé un problème : le doigt doit appuyer au bon endroit avec la bonne inclinaison. Nous sommes arrivés au résultat désiré en plaçant un morceau de polystyrène dans la nacelle auquel nous avons collé le cerveau moteur de façon à ce que le doigt soit perpendiculaire à l'appareil tel que vous le voyez sur la photo.

A partir d'un potentiomètre (résistance réglable) sur le circuit électronique on pouvait régler la fréquence du mouvement du doigt. Nous avons choisi de faire une photo toutes les quatre minutes afin de prendre une trentaine d'images lors de l'ascension du ballon (l'ascension durant environ 120min) et le reste de la pellicule (qui était une pellicule de 40 photos) pour la descente. Nous avons privilégié la prise de photo lors de la montée car d'une part, les photos prises lors de la descente auraient été les mêmes que celles prises lors de la montée, et d'autre part la descente se fait très rapidement (80m/s contre 5m/s lors de la montée) et il y avait alors le risque de prendre des photos floues. Cependant, nous avons décidé de prendre tout de même quelques photos lors de la descente pour bien discerner les différences de vitesse entre ces deux phases de vol.

-Radio :

Durant toute la semaine passée au centre, la radio étudiante Mix (89.5) nous a prêté son matériel d'enregistrement pour assurer des interviews. Le matériel pouvait être emprunté par tout le monde et donc chacun avait la possibilité d'exprimer ses réactions à tous moments. Ce reportage retrace les moments forts de la semaine, avec les différentes étapes de la conception de la nacelle et des antennes. Les réactions étaient très diverses allant de la frustration à la joie. Ce reportage a été mixé, découpé, amélioré par les élèves, leur objectif étant de convaincre les futures terminales de participer à ce projet. Nous avons donc retenu dans le mixage final des moments chargés d'émotion. Nous y expliquons également de façon simple en quoi a consisté notre travail. Nous y montrons que l'on peut apprendre beaucoup dans un temps réduit tout en se divertissant. e reportage sera diffusé plusieurs fois dans l'émission hebdomadaire « Science et environnement ».

D-Les problèmes survenus et les solutions pour les résoudre.

-Un premier problème est survenu sur l'émetteur son. Après s'y être consacré pendant des heures, on a enfin trouvé l'origine du problème : le circuit intégré qui était neuf ne fonctionnait pas. On l'a donc échangé avec un ayant déjà servi, dont on était sûr qu'il marchait.

-Autre problème imprévu : malgré le calcul du diamètre des tubes, la fraîcheur de la température ambiante a légèrement rétréci ce diamètre ; ce qui a empêché Laurent et Baptiste d'emboîter directement les tubes pour assembler les antennes. Seule solution trouvée : poncer à la main les tubes afin de réduire leur diamètre, mais cette alternative a consommé beaucoup de temps aux deux élèves, temps qui, en définitive n'aura servi à rien, comme expliqué dans la suite.

-Il y a aussi eu un problème avec un autre émetteur : l'émetteur d'onde pour localiser la nacelle. Malgré le scrupuleux respect du schéma du circuit électronique, les transistors ne supportaient pas le courant et grillaient inlassablement. Après trois essais, on a dû se résoudre à faire une croix sur cet émetteur, et donc sur tout le travail effectué concernant la triangulation (principalement les antennes, qui ont nécessité tout de même 15h d'élaboration, mais aussi l'adaptation des postes radio, qui ont été modifiés afin de pouvoir capter plus facilement la longueur d'onde émise par l'émetteur). La déception passée, nous avons eu l'idée d'appeler l'armée afin de bénéficier de leur radar pour localiser notre ballon. Après quelques discussions téléphoniques, ils nous ont assurés de leur coopération. Malheureusement, ce fut une autre désillusion car le manque de code IFF du ballon, a empêché les radars de l'armée de le repérer. Une autre idée nous est alors venue à l'esprit : nous avons contacté de nombreux aéroclubs, clubs de randonnée pédestre ou équestre de la région afin qu'ils nous préviennent s'ils aperçoivent la nacelle, en espérant qu'ils la retrouvent. A ce jour, notre ballon se trouve quelque part dans les Alpes, vraisemblablement sous la neige. Peut-être le retrouverons-nous au printemps.

-Dans la suite des embûches, il faut noter le refus de dernière minute de l'aviation civile. Après avoir accepté depuis longtemps le vol du ballon, ils changent d'avis et nous le refuse 4h avant le lancé. Encore une fois il aura fallu environ une heure de discussion afin qu'ils reviennent sur leur deuxième décision

et ré-acceptent finalement le lâcher, encore une montée d'adrénaline qui aurait pu être évitée, surtout après la nuit blanche passée à finaliser le ballon.

-Enfin, dernier problème avant le lâcher : lors de l'ultime vérification des composants et de leur compatibilité avec le système KIWI, nous nous sommes aperçus que l'émetteur KIWI connaissait de grosses interférences rendant les données incohérentes. Après quelques tests, on s'est alors rendu compte que la sonde ozone créait ces interférences dans l'émetteur. Problème non résolu, mais le lâcher ne pouvait plus attendre : les données ont donc été, pour la plupart, inexploitables.

E-Résultats

Exploitation des mesures du

kiwi

Quatre voies de mesures en sortie du système kiwi ont été utilisées, chaque mesure doit être comprise entre 0 et 5 volts pour pouvoir être émise par le Kiwi sans saturation et donc permettre le tracé des courbes.

Les tests des capteurs (pressions, température, détecteur de chocs) ont été positifs sans le kiwi dans la nacelle et donc sans émission de données et validés par Planète-sciences, puis aléatoires une fois le Kiwi installé.

Le convertisseur courant-tension n'a pas pu être testé :

- sans la sonde à ozone (carence en générateur de microcourants inférieurs à $8 \mu A$)
- avec la sonde, celle-ci devant être chimiquement conditionnée à la dernière minute

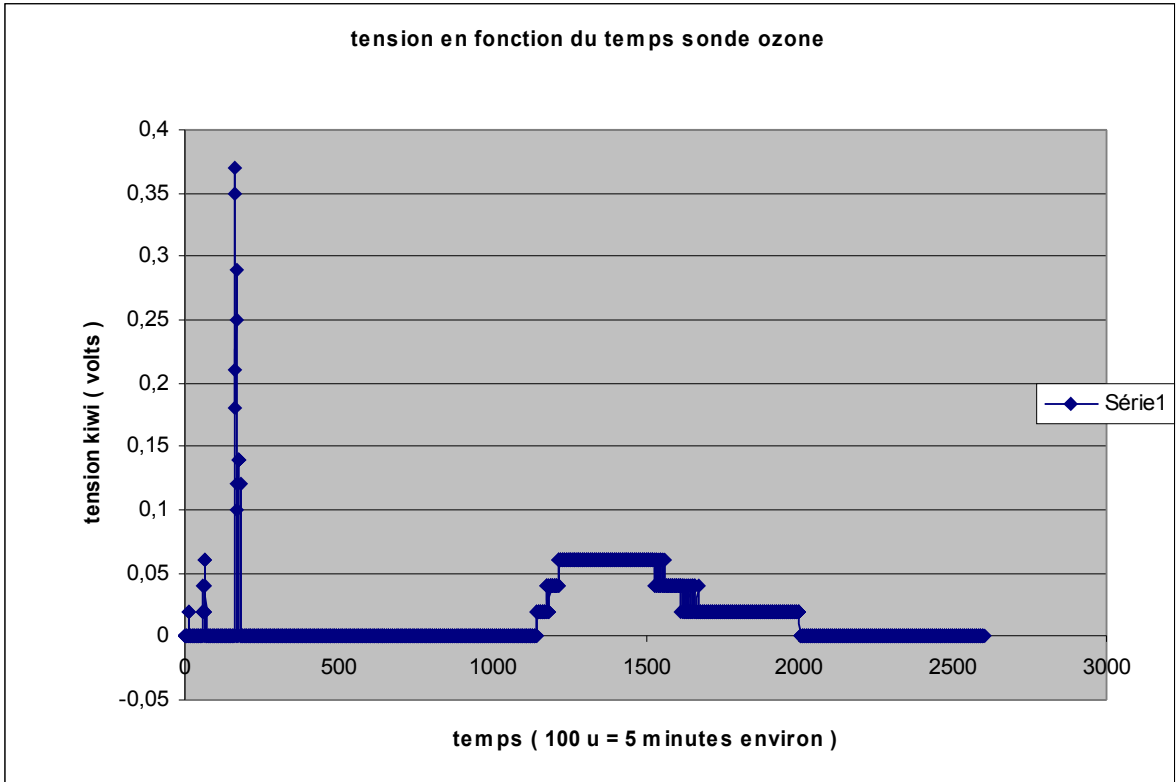
Un gros inconvénient nous a limités pour les tests avec le Kiwi car il était impossible de les effectuer à l'avance, compte tenu du fait que Planète-sciences livre le Kiwi seulement le jour du lâcher

Les voies de mesures ont donné des valeurs aléatoires, souvent dues à la saturation de 5 volts, ou bien les valeurs sont restées nulles. Parfois certaines voies donnaient des valeurs identiques au même instant, cela est étrange car ce ne sont bien sûr pas les mêmes données étudiées.

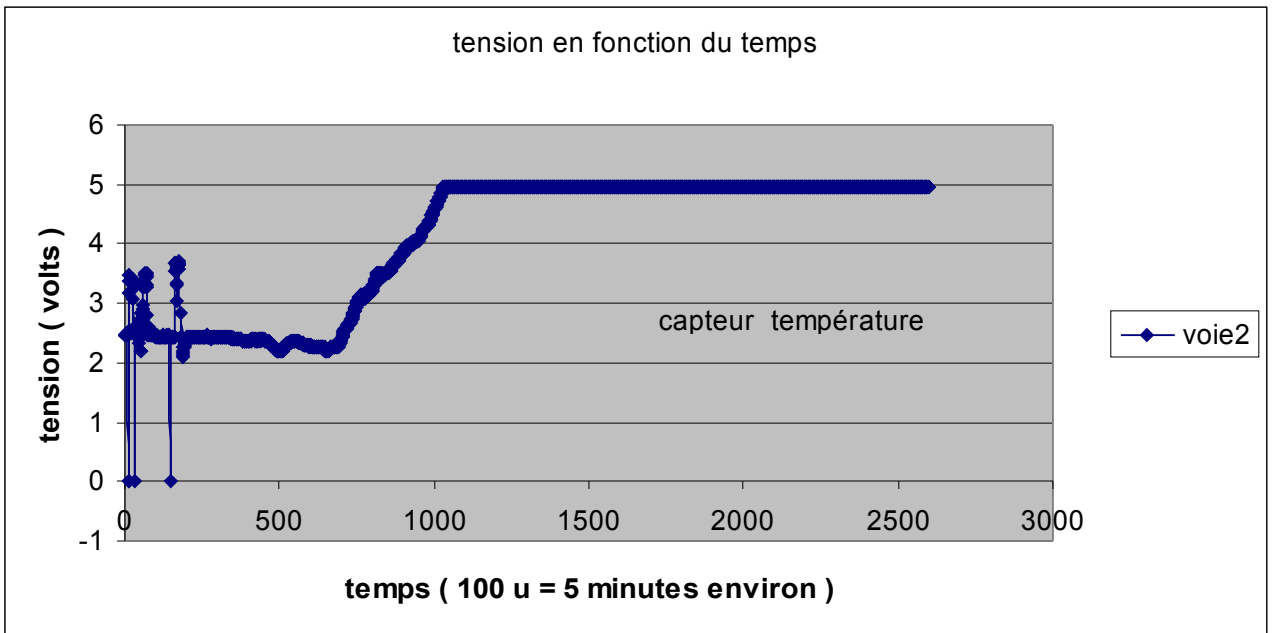
Le parasitage par le convertisseur a interféré dans les données. Ceci peut être dû au non-blindage de l'amplificateur opérationnel, mais cela n'a pas été prouvé.

Nous indiquons deux des courbes délivrées par les mesures kiwi :

- l'une indique un niveau de signal très faible pour le capteur à ozone



- L'autre, pour la sonde de température, on observe une montée très rapide, puis une saturation :



La tension initiale de 2,5 V correspond à une température de 6,6°C, qui était à peu près celle constatée au sol le jour de notre lâcher. On obtient ce résultat par l'application de la formule donnant la tension $U_{(Kiwi)}$. On peut la modifier pour exprimer la résistance de la température $R_{(t)}$ en fonction des autres grandeurs cela donne l'équation suivante :

$$R_{(t)} = (R \times U_{(Kiwi)}) / (U_{(gen)} - U_{(Kiwi)})$$

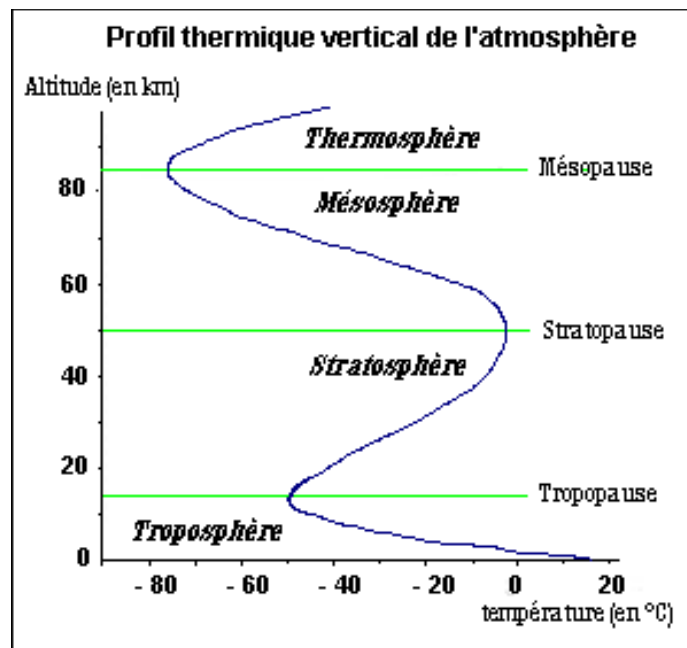
On trouve alors $R_{(t)} = 1,27 \text{ k}\Omega$.

On modifie ensuite l'équation de la courbe d'étalonnage de la thermistance pour obtenir :

$$T = (R_{(t)} - 1.5) / (- 0,035)$$

On trouve alors la température égale à 6,6°C.

L'allure de la courbe jusqu'à $t=1000$ est normale. L'augmentation de la tension correspond à une diminution de la température, ce qui est en accord avec la réalité. La tension augmente de 2,5V et atteint sa valeur maximale de 5V à $t=1000$. La saturation survient au bout de 50 minutes, c'est à dire pour une altitude d'environ 14 Km, lorsque le ballon aborde la tropopause (limite entre la troposphère et la stratosphère), zone de températures minimales (vers - 60°C). On lit alors sur la courbe une tension aux bornes du Kiwi de 5V, en appliquant les formules ci-dessus on obtient à $t = 50 \text{ min}$, une résistance $R_{(t)} = 4,1 \text{ k}\Omega$, et donc une température $T = - 75^\circ\text{C}$. Cette valeur de la température est plus élevée que la température minimale attendue autour de $- 60^\circ\text{C}$. Bien que le ballon soit à ce moment là dans la couche atmosphérique où la température est minimale, une telle température n'aurait pas dû être atteinte.



Altitude en fonction de la température

L'interprétation de la saturation constante de la mesure de températures au-delà de la tropopause pose problème : normalement, la tension aurait du redescendre une fois que le ballon avait quitté la tropopause car ensuite la température remonte. Ici, la courbe nous indique qu'il fait moins de -75°C pendant tout le reste du trajet du ballon, ce qui est impossible. Nous en déduisons donc qu'un facteur inconnu a parasité la tension du circuit de la thermistance, c'est peut être un disfonctionnement d'un composant

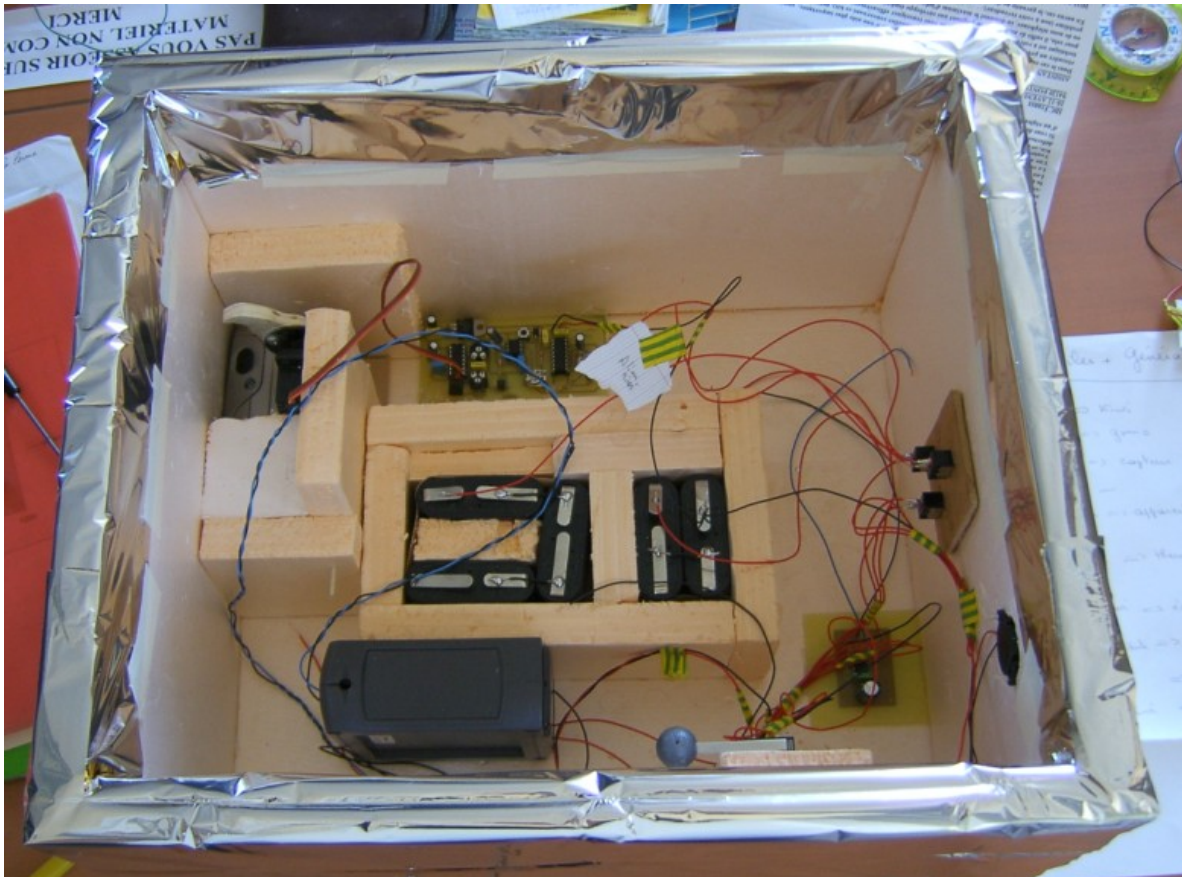
Malgré donc un début de courbe prometteur, la courbe totale n'est pas exploitable car elle est incohérente. Nous pensons que ce problème est la conséquence du disfonctionnement d'un des éléments du circuit, ou de l'émetteur kiwi lui-même.

Nous concluons à une exploitation très partielle ou bien impossible des courbes obtenues. Cela est du principalement à un manque de temps pour les tests, à des interférences entre les différents appareils et enfin à des problèmes dont on ignore la cause.

F-Conclusion

Ce projet a été pour chacun de nous une expérience unique et enrichissante. Très intéressante, la semaine passée à Saint Michel de l'Observatoire nous a apporté des connaissances scientifiques spécifiques. Elle nous a aussi permis de développer une prise d'initiative face aux nombreuses situations imprévues et l'esprit de travail en groupe (répartition des tâches, décisions et réflexions communes).

Ce travail, rarement effectué par des lycéens, a été une bonne sensibilisation à l'environnement. Malgré la pauvreté de résultats satisfaisants, la trop courte période de préparation de la nacelle et l'intensité du travail que nous devons fournir (les nuits de sommeil se sont avérées très courtes) le projet nous a captivés de son commencement à sa fin. Il nous a fait prendre conscience de la difficulté d'une démarche scientifique : le projet a été rythmé par les obstacles et les événements inattendus qui nous ont forcés à sans cesse revoir nos ambitions. Mais il nous a aussi montré qu'une démarche scientifique est une passionnante aventure, pleine de rebondissements...



Photographie de l'intérieur de la nacelle.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés et sans qui notre projet n'aurait pu se réaliser. Il s'agit :

- tout d'abord nos professeurs organisateurs du projet Callisto, qui ont organisé le séjour à Saint-Michel l'Observatoire et nous ont assistés pendant le stage :

M. AURARD : professeur de physique-chimie à Cavaillon

M. DUGAST : professeur de mathématiques à Orange

Mme MIALET : professeur de physique-chimie à Orange

Mme PANNETIER : professeur d'anglais à Orange

M. STRAJNIC : professeur de philosophie à Orange

Mme TOMASINI : professeur de mathématiques à Cavaillon

- mais aussi particulièrement Olivier LABREVOIR (animateur au centre de Saint-Michel l'Observatoire) qui nous a guidés tout au long de la construction du ballon, et qui a supervisé toutes les étapes amenant au lâcher.

Nous remercions de même les personnes du centre d'astronomie de Saint-Michel l'Observatoire, les ingénieurs de l'O.H.P (observatoire de Haute-Provence) qui nous ont apporté une aide précieuse, Planète Sciences (association aidant les projets de ce type et nous ayant fourni l'émetteur Kiwi, le ballon en latex et d'autres composants indispensables), le CNES (centre national des études spatiales), ainsi que toutes les autres personnes ayant aidées notre projet.

Nous adressons aussi notre reconnaissance aux personnes ayant participé au financement de notre entreprise tel que le Parc du Luberon, les foyers socio-éducatifs de nos lycées.