



Le Projet Phoenix

Club aérospatial de l'École Supérieure
d'Électronique de l'Ouest

Projet d'un ballon stratosphérique
lancé le 27 mai 2004



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier très sincèrement :

-tous les membres de Planète Sciences secteur Espace,

En particulier : Etienne Maier et Vincent Riche,

-Nicolas Verdier, ingénieur au CNES, pour ses conseils,

-Motorola, dont monsieur Laurent Massicot, pour nous avoir fourni les capteurs de pressions,

-Le BDE pour son soutien,

-les professeurs de l'ESEO pour leurs encouragements, notamment messieurs Bouvier, Genet, et Le Duff ainsi que messieurs Charruault, Madeline et Guitton,

-monsieur Vincent David qui retrouva la nacelle,

-le Club Robot de l'ESEO qui nous a prêté ses outils,

-et tous les autres...

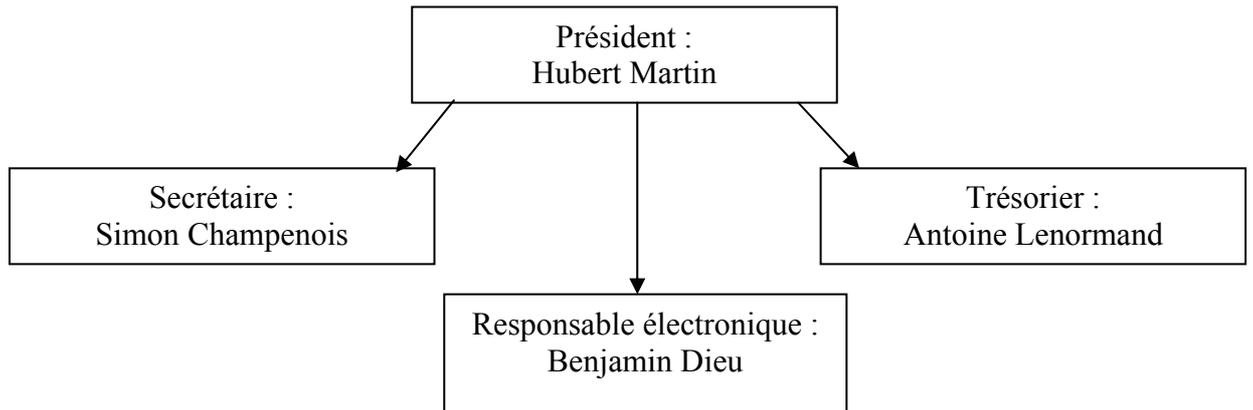
SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	2
SOMMAIRE	3
LE CLUB :.....	4
L'EQUIPE.....	5
LA NACELLE.....	6
HISTORIQUE.....	8
1) <i>La trajectoire suivie</i>	<i>8</i>
2) <i>les expériences choisies</i>	<i>9</i>
3) <i>Conception de la nacelle.....</i>	<i>10</i>
LANCEMENT DE NOTRE BALLON STRATOSPHERIQUE	11
LES RESULTATS DES CAPTEURS	13
<i>Conversion nombre - tension</i>	<i>13</i>
<i>Étalonnage du capteur de pression.....</i>	<i>13</i>
<i>Étalonnage des capteurs de température</i>	<i>13</i>
<i>Courbe de pression obtenue.....</i>	<i>16</i>
<i>Courbe d'altitude obtenue.....</i>	<i>17</i>
<i>Courbes de température obtenues.....</i>	<i>19</i>
COMMUNICATION	21

LE CLUB :

Le Club aérospatial E.S.E.O.

Ecole Supérieure d'Electronique de l'Ouest.
4, rue Merlet de la Boulaye.
49000 ANGERS.



Partenaires :

BDE ESEO
Partenaire financier
4, rue Merlet de la Boulaye
49000 ANGERS

Planete Sciences
16 Place J.Brel
91130 Ris Orangis
Tél: 01.69.02.76.10

Motorola
Parc les Algorithmes
Saint Aubin
91193 Gif sur Yvette Cedex – France
Tel : 01 69 35 77 12

L'EQUIPE



Benjamin Dieu, Simon Champenois, Hubert Martin, Antoine Lenormand, Benjamin Carteron de la section astronomie.

LA NACELLE



Figure 1: nacelle Phoenix avec son étiquette l'identifiant



Figure 2: Etiquette mentionnant la participation de Motorola



Figure 3: la nacelle juste avant le décollage

HISTORIQUE

Le projet Phœnix fut notre projet de ballon sonde et le chemin parcouru a dépassé toutes nos espérances. Le lancement eut lieu le 27 mai à Vitré (35). Mais une grande route a été parcourue.



Le projet Phœnix est entre nos mains

1) La trajectoire suivie

Au départ nous ne savions pas comment commencer et nous avons bien failli louper notre départ : il fallait que nous nous inscrivions auprès de Planète Sciences, association partenaire du projet, avant le 15 novembre.

Le club ayant été fermé il y a quelques années il fallut rouvrir un compte, qui ne fut effectif qu'en janvier, puis demander une subvention au BDE. Cela signifie qu'il nous a fallu évoluer sans argent pendant plus de 3 mois.

Pour cela nous n'avons pas hésité à faire les « poubelles » pour trouver les matériaux nécessaires comme du bois. Enfin il a fallu commencer la réalisation de la nacelle un peu à l'aveuglette.

Fin janvier la nacelle en polystyrène était quasiment terminée. Et nous commençons à faire des essais pour le module électronique.

Le mois de Mars fut alors pour nous un mois décisif. Tout d'abord la visite de Nicolas Verdier, ingénieur au CNES, nous a permis d'assister au lancement d'un ballon sonde puis de pouvoir confronter notre propre projet à l'avis d'un professionnel.

Peu de temps après, nous avons eu la visite d'Etienne Maier, responsable du secteur espace à Planète Sciences. Cette visite fut très encourageante et nous a permis d'effectuer des tests très précis en télémétrie.

Quelques jours plus tard lors des journées portes ouvertes nous avons pu présenter notre projet aux futurs élèves mais également aux professeurs. Nous portons une très grande importance à leurs avis et leurs soutiens.

Enfin le 28 mars, au lieu d'être avec nos amis au gala nous avons fait l'effort de nous lever tôt un dimanche matin pour nous rendre en banlieue parisienne, au siège de Planète Science de Ris-Orangis. Là nous avons effectué une courbe d'étalonnage nécessaire à la réussite du projet.

De plus la participation de Motorola, qui nous a fourni des capteurs de pression fut pour nous d'un grand secours.

Enfin voilà le rapport venant conclure le vol du projet Phoenix.

2) les expériences choisies

Le projet avait pour but de nous initier au monde de l'aérospatial par un projet simple. Nous avons embarqué un petit module électronique se branchant directement sur le connecteur d'interface (HE 14-20) du KIWI millenium. Ce petit module était composé de quatre chaînes de capteur. Trois de température : deux pour l'extérieur (capteurs de types différents), et un pour l'intérieur. Enfin il y avait un capteur de pression qui nous permettait de connaître en permanence l'altitude de la nacelle. L'alimentation était faite avec trois piles de type MN1203 (alcaline de 4.5V).

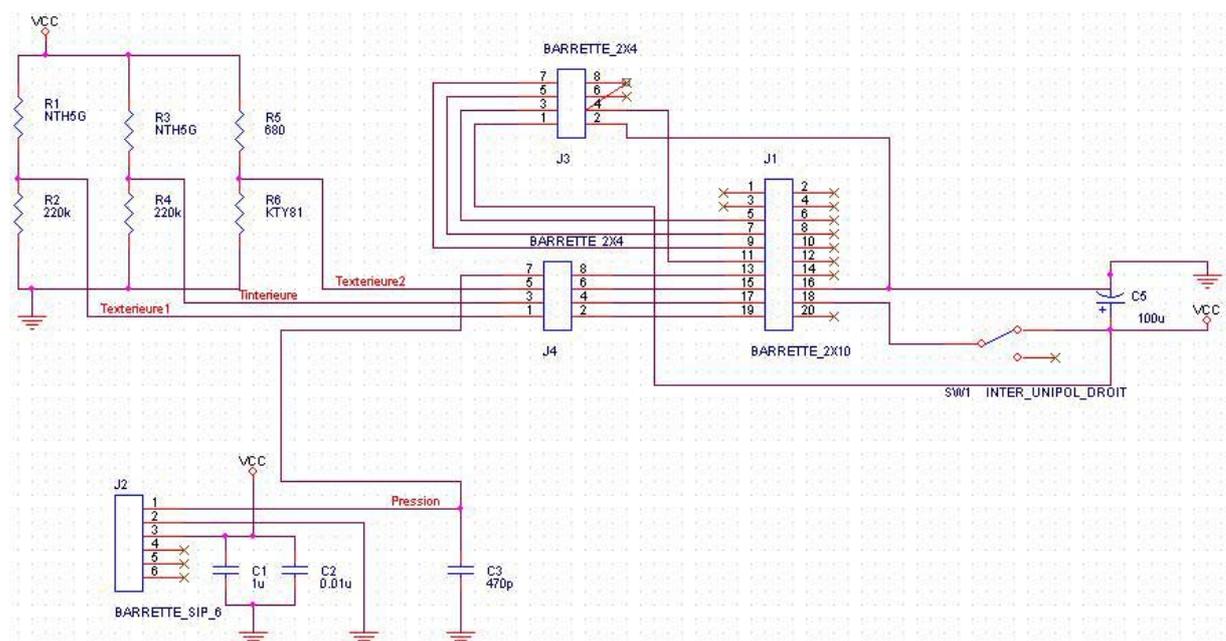


Figure 4: circuit des capteurs branchés sur le kiwi millenium

3) Conception de la nacelle

La nacelle fut fabriquée en styrodur (polystyrène extrudé). C'est un matériau utilisé dans le bâtiment pour l'isolation thermique. Il a l'avantage d'être léger, solide et de très bien isoler. Nous avons fait le choix de réaliser une nacelle cylindrique. Pour cela il a fallu concevoir un système de fil chaud à l'aide de corde de piano de 0.5mm pour découper les plaques de polystyrène.

Nous avons choisi de laisser une grande épaisseur pour les parois. Cela rajoute du poids mais au final la nacelle est très solide, isole très bien (+10°C à l'intérieur pour une température extérieure de -50°C), et la charge utile maximale est de 1.5kg.

Enfin nous l'avons recouverte d'une couverture de survie, plus pour son côté esthétique que pour son rôle isolant.

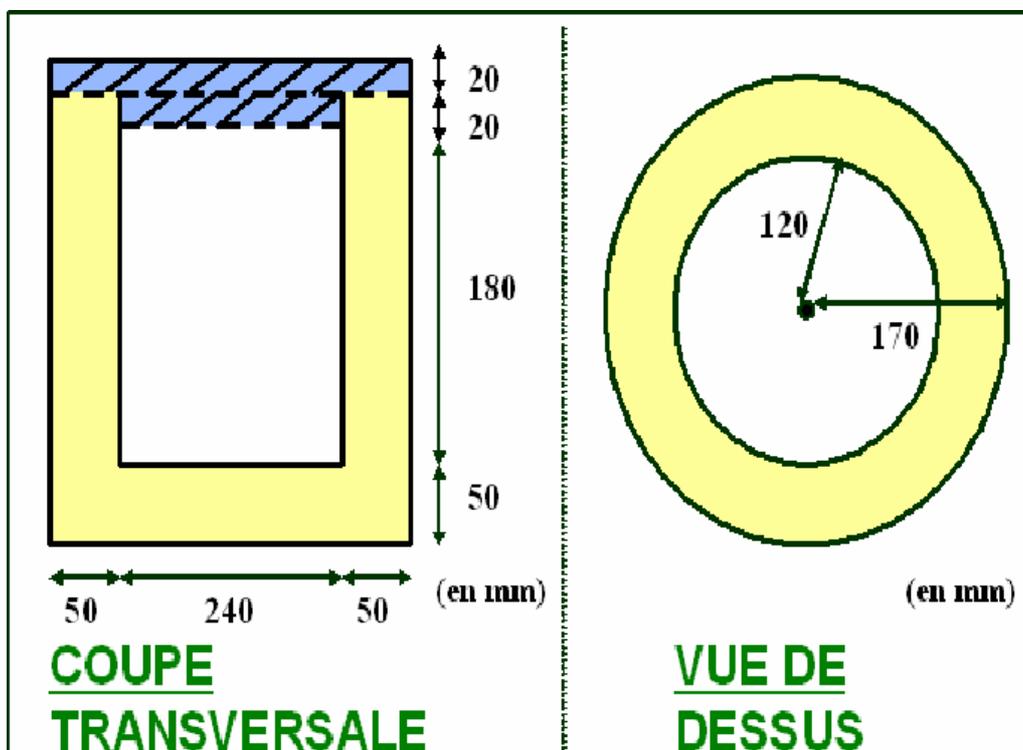


Figure 5: schémas de la nacelle

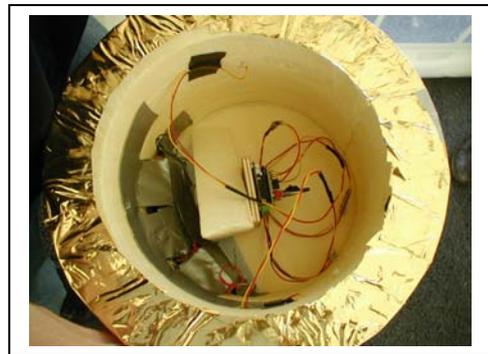
LANCEMENT DE NOTRE BALLON STRATOSPHERIQUE

L'aboutissement de notre projet eut lieu le 27 mai 2004 à Vitré (35). Ce lieu et cette date nous ayant été proposés par Planète Sciences afin de regrouper plusieurs lancers. En effet pour des raisons de sécurité aérienne il est obligatoire d'avoir la présence d'un membre du CNES ou de Planète Sciences.

Avant ce grand jour nous avons prévu un planning avec tout ce que nous devions faire pour cette journée puisqu'un seul oubli ou une seule négligence de notre part pouvait anéantir une année entière de travail en seulement quelques secondes.

Nous nous sommes donc tenus à ce planning en nous adaptant bien sûr aux imprévus toujours présents.

Après la vérification de la conformité (au cahier des charges) de notre nacelle par Planète Sciences, nous avons testé la réception du signal émis par notre ballon. Mais alors notre circuit électronique qui fonctionnait parfaitement la veille au soir n'émettait un signal qu'irrégulièrement. Il a fallu que l'on vérifie chaque piste du circuit au voltmètre, après quelques minutes, un problème de soudure sur l'interrupteur a été décelé.



Ce petit problème de soudure ainsi réparé, le signal était bien reçu sur les stations réceptrices. Nous avons ensuite relié la chaîne de montage à notre nacelle puis gonflé le ballon en prenant soin de ne pas le percer vue la fragilité de sa matière.



Après le lâcher du ballon nous avons suivi les transmissions des données sur deux postes de réception reliés chacun sur une antenne différente. Il fallait de temps en temps réorienter les antennes pour obtenir une meilleure transmission. La deuxième station réceptrice n'a eu qu'un rôle de sécurité si la première station avait eu un problème.



LES RESULTATS DES CAPTEURS

Conversion nombre - tension

Chaque valeur réceptionnée est un nombre allant de 0 à 255. Cela vient du fait que l'émetteur kiwi numérise les tensions qui sont à ses entrées pour les émettre. Ces tensions vont de 0 à 5 Volts donc, pour reconvertir le nombre reçu par l'émetteur en la tension aux bornes du capteur, il faut effectuer l'opération suivante :

$$\text{Tension (V)} = \frac{\text{Nombre} * 5}{256}$$

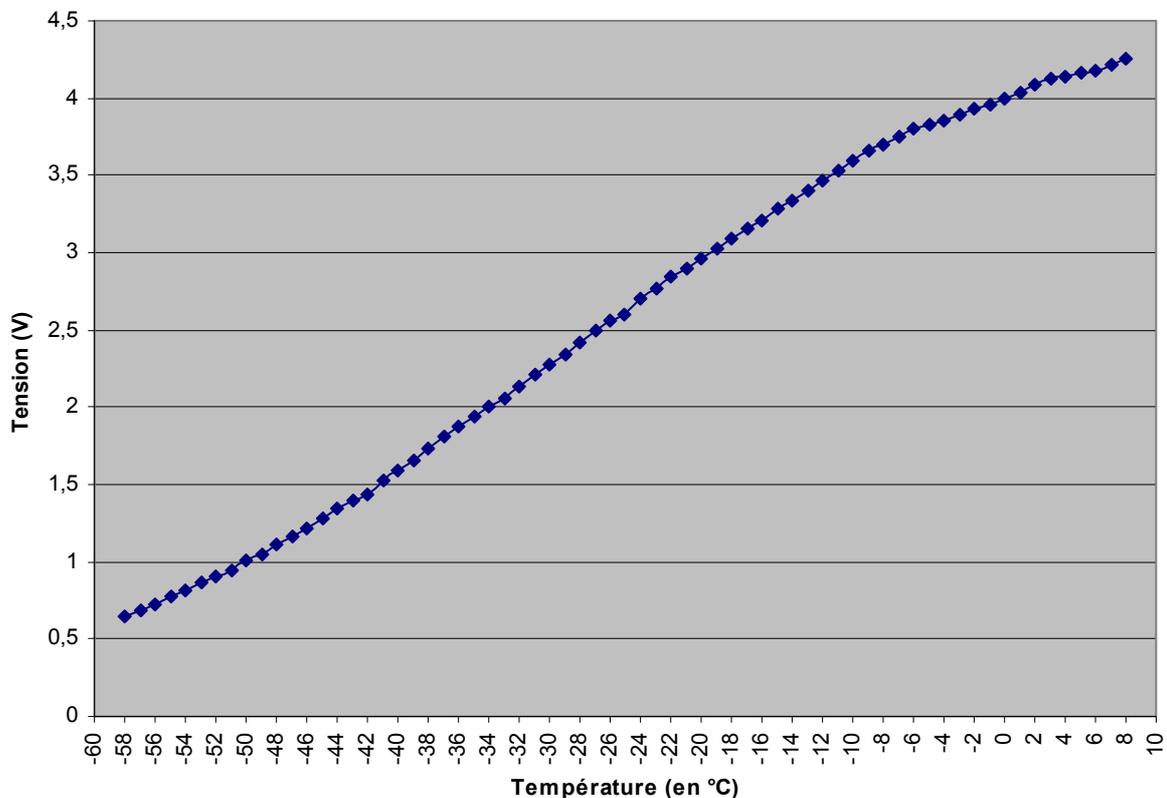
Étalonnage du capteur de pression

L'étalonnage du capteur de pression (MPX4115AP) est tel que, pour une tension réceptionnée, la pression est la suivante :

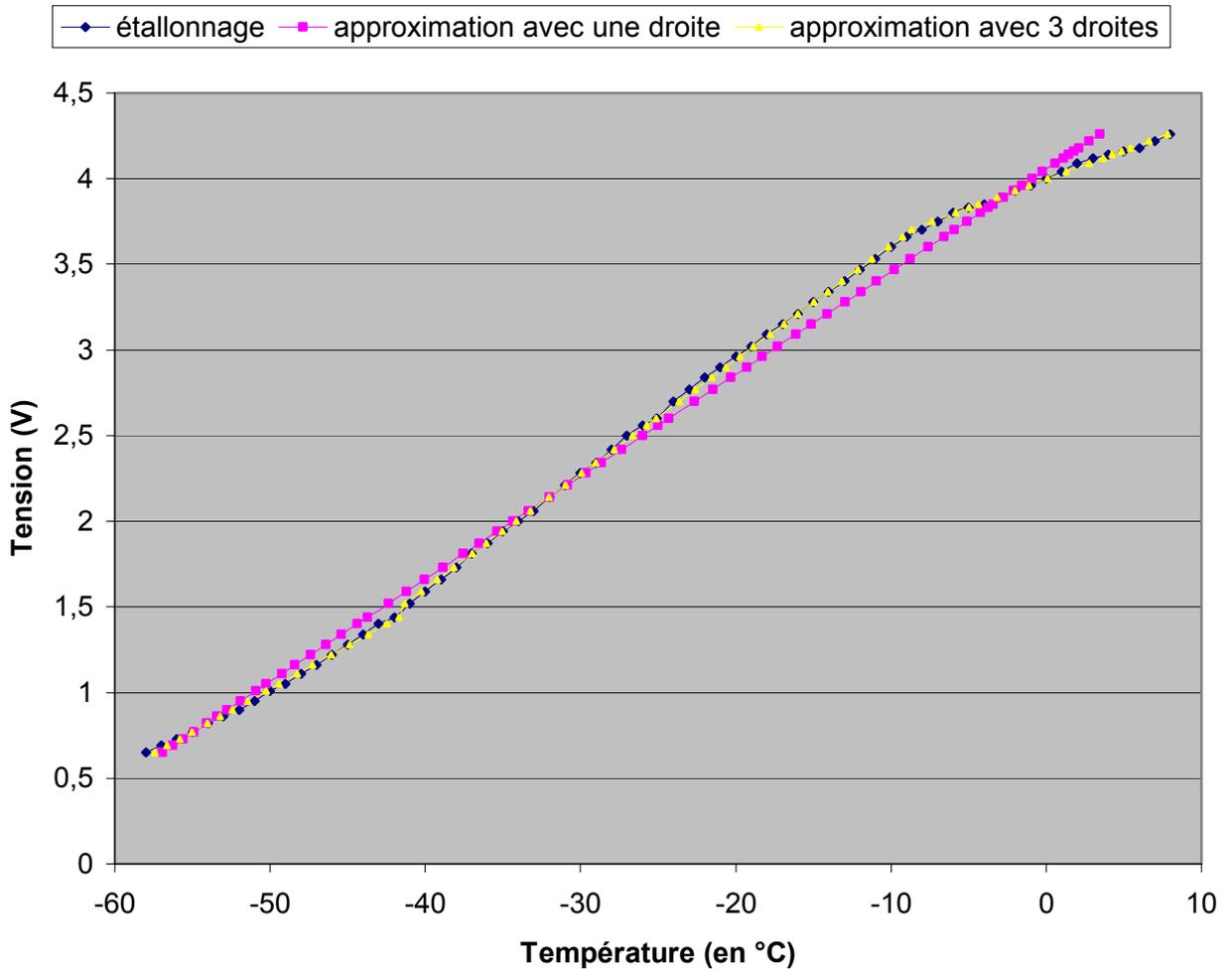
$$\text{Pression (hPa)} = \frac{10}{0.009} * \left(\frac{\text{Tension}}{5} + 0,095 \right)$$

Étalonnage des capteurs de température

La courbe d'étalonnage des deux capteurs de température, effectuée au siège de Planète Science de Ris-Orangis, est la suivante :



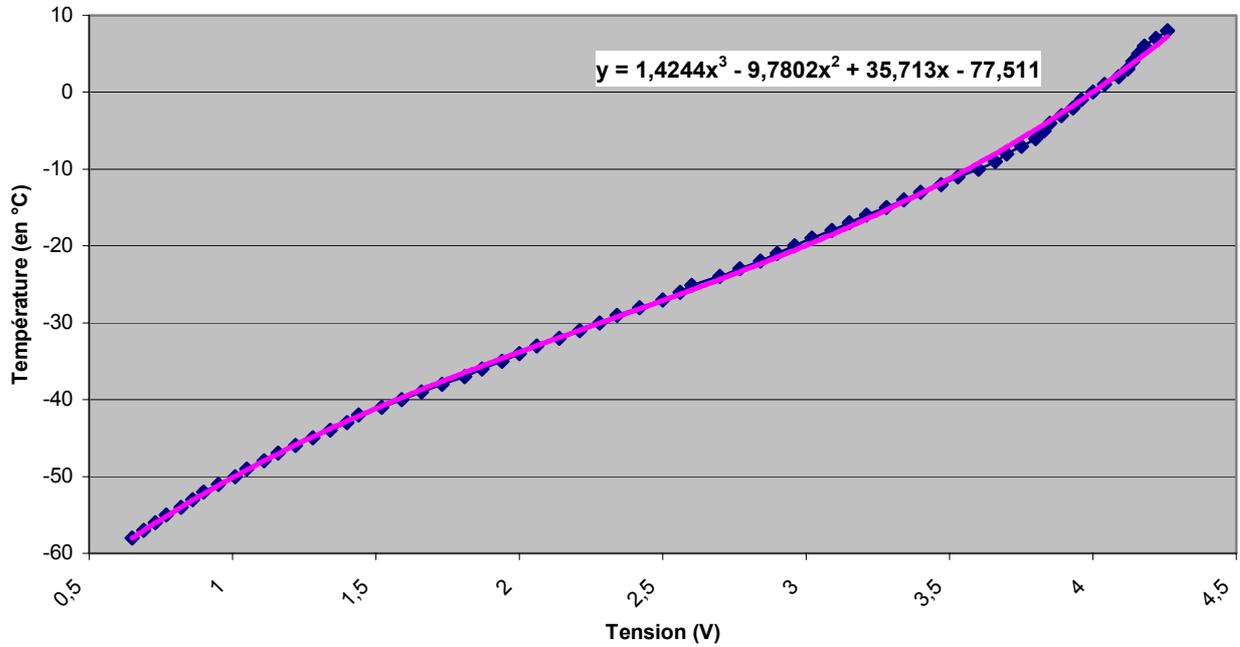
Pour pouvoir, d'après la valeur de tension récupérée lors du vol, retrouver la température qui lui correspond, il faut tout d'abord trouver une équation à cette courbe. Pour obtenir cette équation, la méthode utilisée fut de faire l'approximation de la courbe par trois droites.



On voit bien, d'après la courbe ci-dessus, qu'il est important d'utiliser trois droites pour se rapprocher de la courbe d'étalonnage, car avec une seule droite, l'approximation est trop grande.

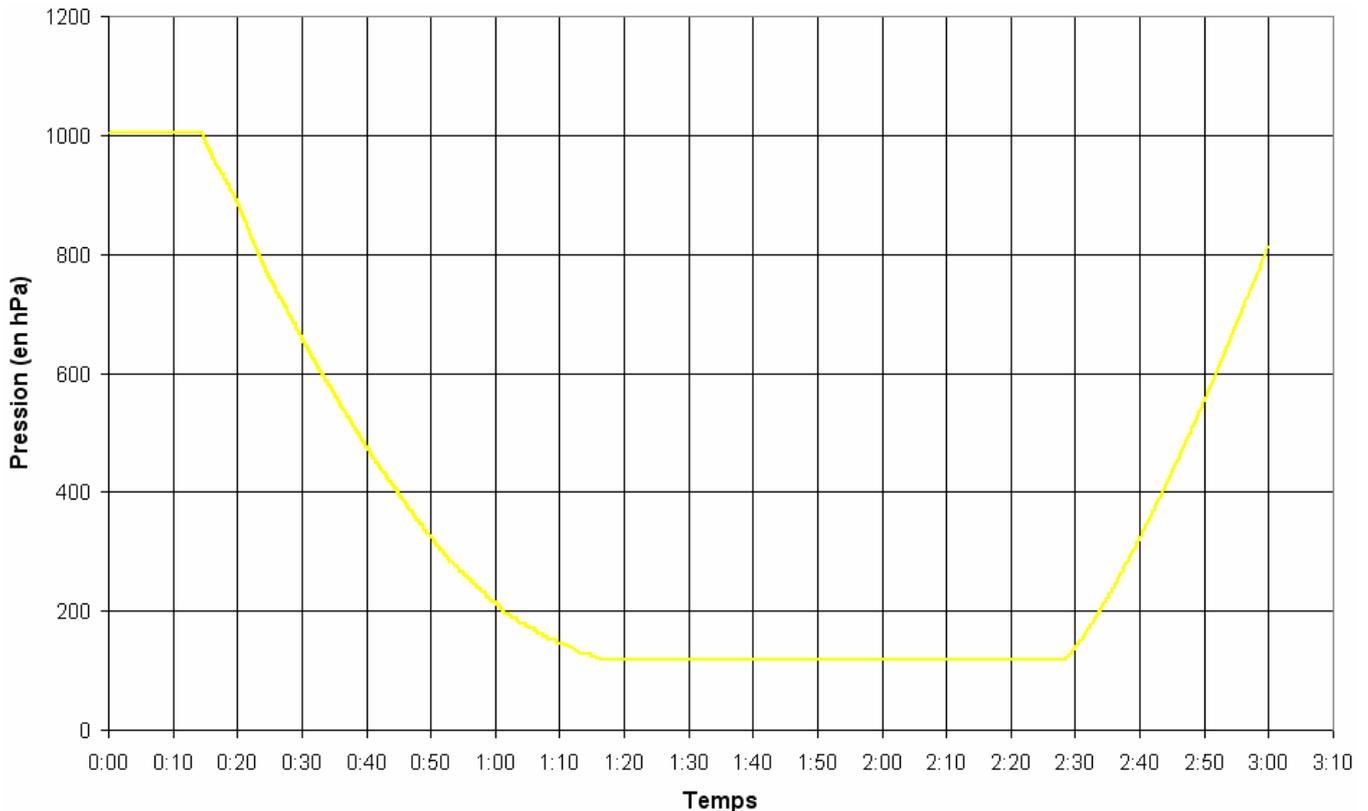
Remarque :

Il aurait été possible d'utiliser une autre méthode. En effet, le logiciel Excel calcule automatiquement une courbe de tendance. Si cette courbe est du type polynomial et de degré 3, l'approximation est très proche de la courbe d'étalonnage.



Courbe de pression obtenue

La courbe de l'évolution de la pression obtenue au cours du vol de notre ballon est la suivante :



Temps

Remarques :

De 0:00 à 0:15 Nous remarquons que la pression est stable durant un quart d'heure pour diminuer ensuite. Ce quart d'heure n'est autre que le temps mis à lancer le ballon. En effet, nous avons mis en route le circuit bien avant le lancer, car le bouton d'interrupteur du circuit était à l'intérieur. Il fallait donc l'enclencher avant de refermer le couvercle.

De 0:15 à 1:15 Le vol de la nacelle commence donc au temps 0:15. On remarque que la courbe diminue, et se stabilise après une heure de vol. Cela vient du fait que la pression diminue lorsque l'altitude augmente.

De 1:15 à 2:29 La pression reste stable pendant un peu plus d'une heure (1h15 environ). Cela ne vient évidemment pas du fait que le ballon a terminé son ascension et reste à la même hauteur, mais c'est à cause de l'étalonnage du capteur de pression. En effet, la pression minimale détectée sera d'environ 106 hPa avec ce capteur. Le calcul est simple : la tension du capteur baisse en même temps que la pression. Si la tension est à 0V, c'est le minimum que l'on puisse avoir, et cette tension correspond à une pression de :

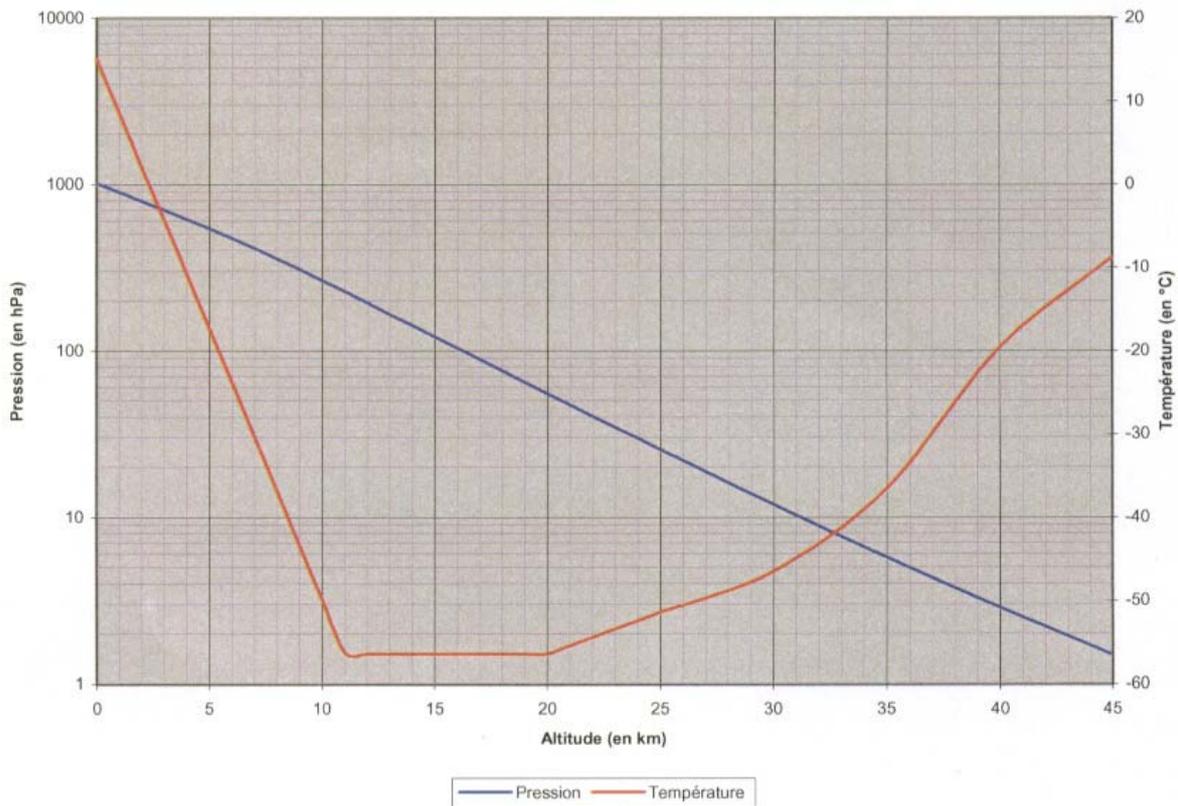
$$\text{Pression (hPa)} = \frac{10}{0.009} * \left(\frac{0}{5} + 0,095\right) = \frac{0.95}{0.009} = 106$$

De 2:29 à 3:00 Ensuite, la pression remonte : c'est la descente du ballon. On peut aussi remarquer que la descente s'effectue beaucoup plus rapidement que la montée, car la variation de pression dans le temps est plus faible lors de la montée que lors de la descente.

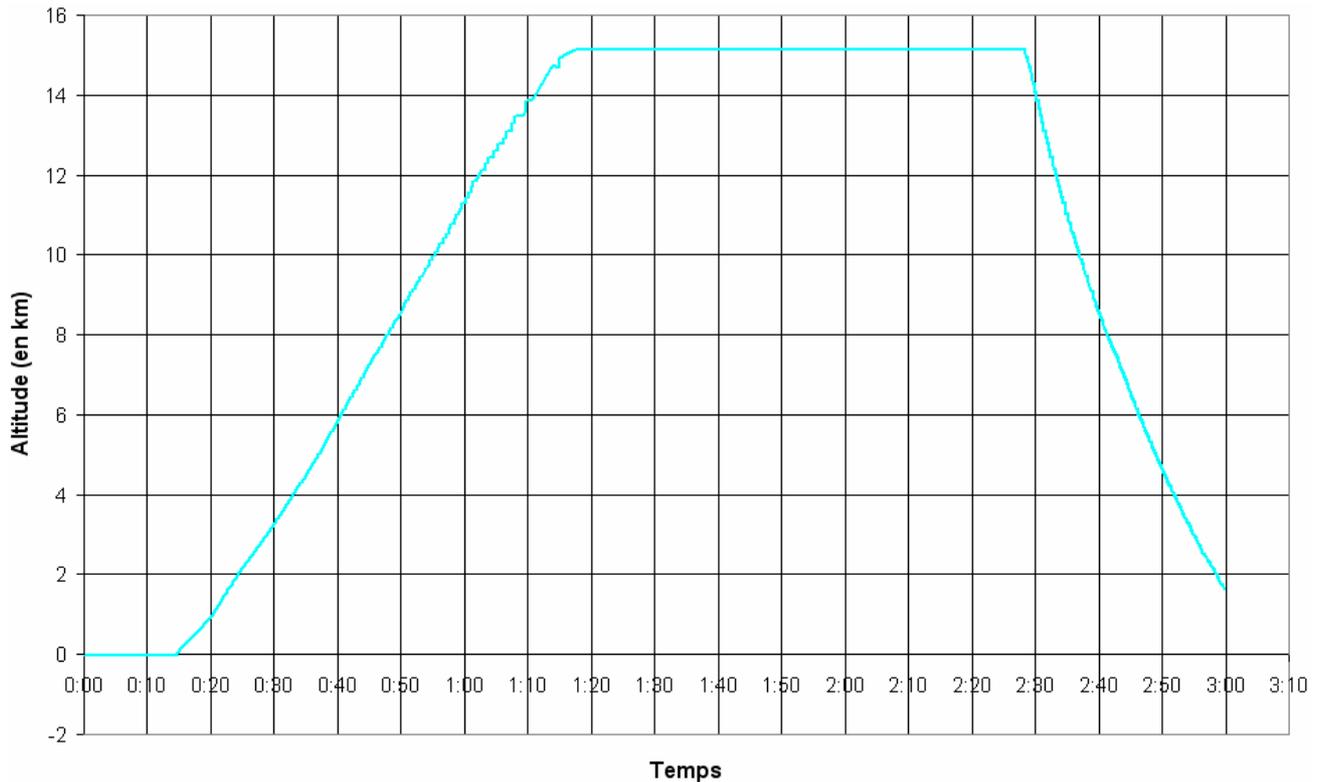
Courbe d'altitude obtenue

L'altitude du ballon a été calculée à partir de la valeur de la pression. En effet, la pression varie avec la hauteur. La courbe de cette évolution est visible avec la figure suivante.

Table d'atmosphère standard



Le calcul de l'altitude est effectué grâce à la courbe de la pression par rapport à l'altitude (courbe bleue). Le résultat est le suivant :



Temps

Remarques :

De 0:00 à 0:15 De même que la pression, le lancer n'est pas encore effectué. L'altitude est donc nulle, et ne varie pas.

De 0:15 à 1:15 C'est l'ascension du ballon. Durant cette première heure d'ascension, le ballon a atteint une altitude de 15 km. On peut donc dire que la vitesse d'ascension moyenne pour cette première heure est de 15 km/h (4,2 m/s).

De 1:15 à 2:29 Pour les raisons similaires à la pression, l'altitude est limitée. On ne peut donc pas obtenir l'altitude du ballon lorsque celle-ci dépasse les 15km.

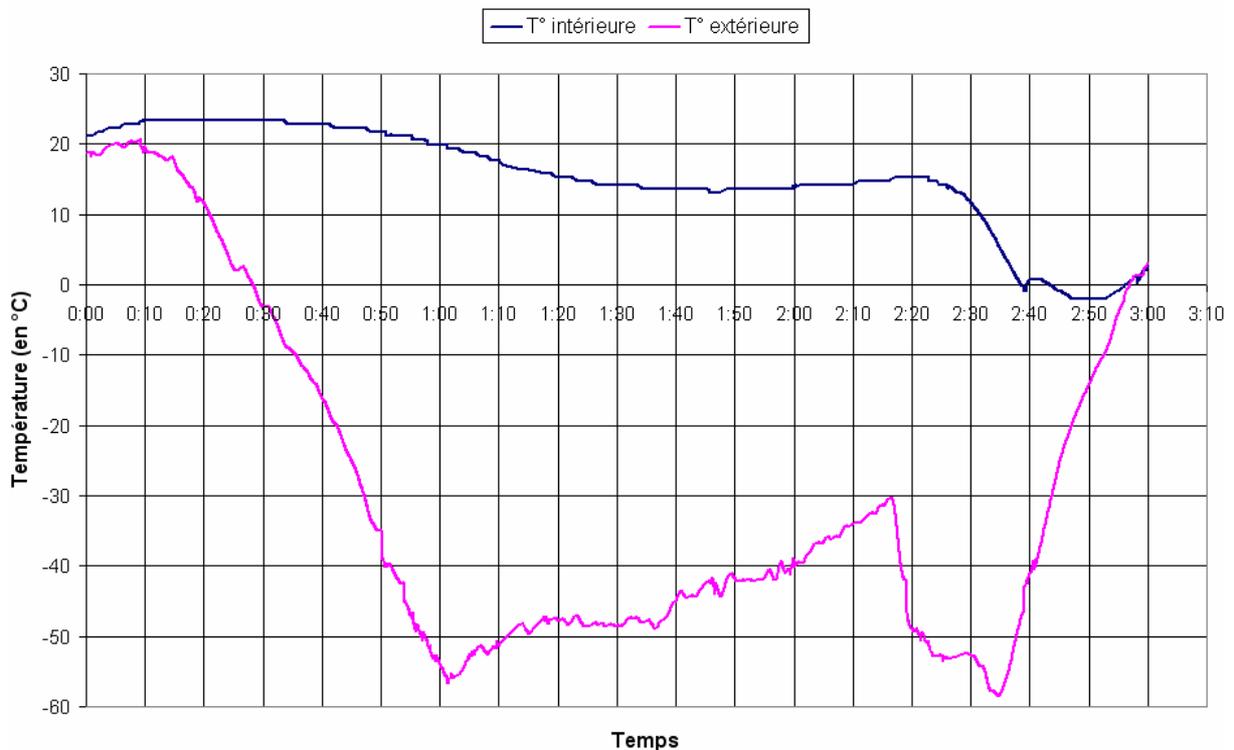
De 2:29 à 3:00 La descente du ballon est déjà commencée depuis un moment lorsque l'on retrouve enfin une valeur de pression.

Lors des 10 minutes qui ont suivi le retour des valeurs du capteur de pression, la descente s'est effectuée à une vitesse de 34 km/h (9,4 m/s), alors que la vitesse moyenne de la descente, toujours après le retour des valeurs du capteur, est d'environ 25 km/h (6,9 m/s). Les 5 dernières minutes avant de perdre la communication avec la nacelle, la vitesse de descente n'était plus que de 16,5 km/h (4,6 m/s).

Nous avons perdu la communication avec la nacelle lorsqu'elle a atteint une altitude inférieure à 1.6 km. Cela vient du fait qu'elle est passée au-dessous de la ligne d'horizon. De ce fait, les ondes envoyées par l'émetteur ne pouvaient plus se propager jusqu'à notre récepteur.

Courbes de température obtenues

Les courbes de température intérieure et extérieure obtenues lors du vol sont les suivantes :

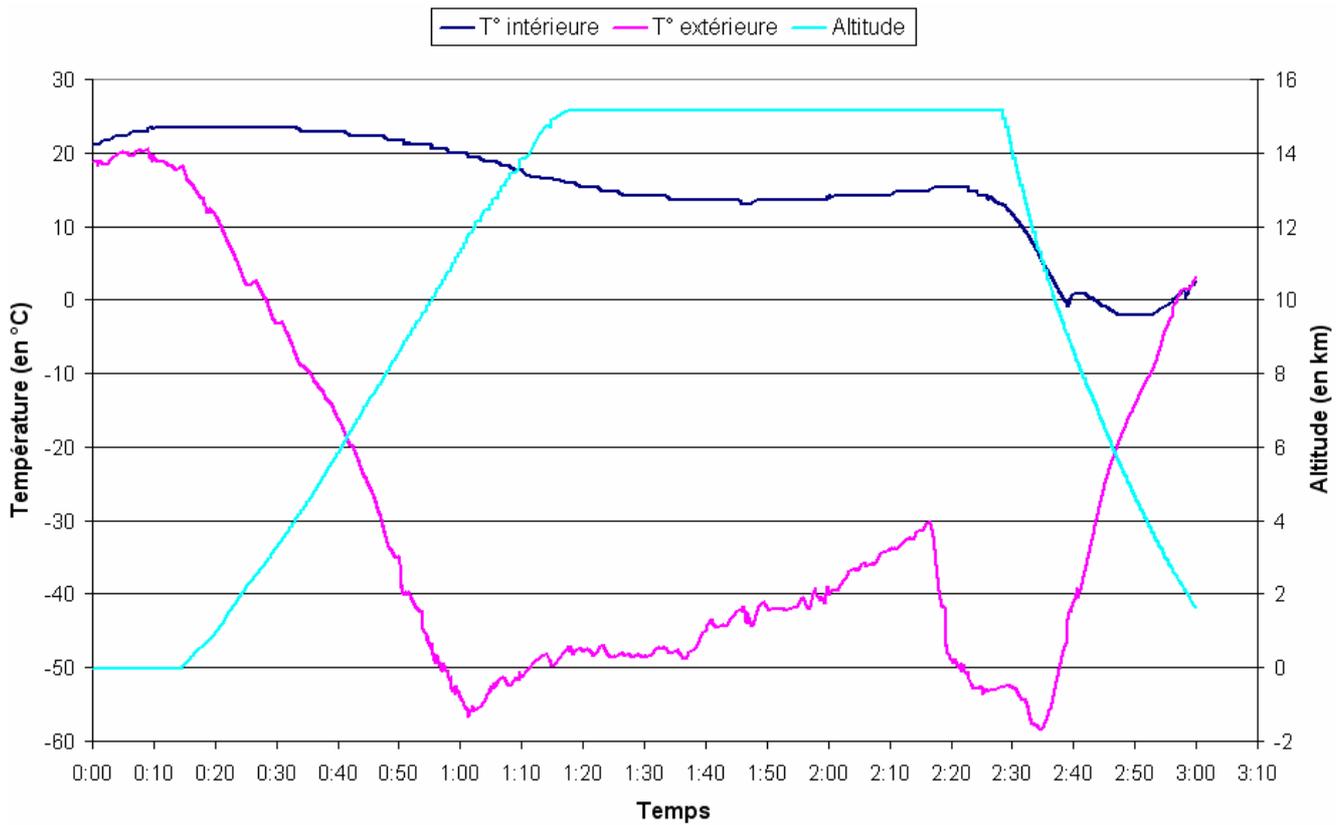


On peut tout d'abord remarquer que la température extérieure diminue dès le début du lancer (qui a commencé après 15 minutes). Au bout de 45 minutes de vol environ (au temps 1:00), on voit que la température remonte, pour rester pratiquement stable à -48 , -49 °C, entre les temps 1:15 et 1:35. Cela signifie que le ballon se situe alors dans la couche intermédiaire entre la troposphère (la couche de l'atmosphère dans laquelle nous vivons) et la stratosphère : la tropopause. En effet, la température dans cette couche intermédiaire y est stable. En France, cette couche se situe environ à 15 km d'altitude, mais peut varier suivant les conditions atmosphériques et climatiques. Ici, l'altitude de notre nacelle lorsque la température se stabilise est bien de 15 km environ. Mais normalement, la température ne devrait pas, contrairement à nos résultats, remonter avant de rester stable, avant d'arriver au niveau de la tropopause. Mais là, ce n'est pas le cas. Sans doute est-ce dû à un phénomène de tropopause multiple.

A la sortie de la tropopause et donc en entrant dans la stratosphère, la température que subit notre nacelle remonte.

Au bout de 2 heures de vol (au temps 2:15), on remarque que la température chute brusquement, pour remonter après 2h20 de vol et avoir atteint pratiquement -60 °C. On peut donc en déduire que c'est à la suite d'une montée qui a duré 2 heures que le ballon, chargé en hélium, a fini par exploser sous l'effet de ce gaz qui augmentait sans cesse de volume, à cause de la pression qui diminuait lors de l'ascension. Puis, après l'explosion du ballon, la descente s'est amorcée, et la température est donc passée par les mêmes phases que lors de la montée, mais plus rapidement.

La température à l'intérieur de nacelle quant à elle n'a pas beaucoup évolué. On la voit diminuer brutalement un peu après l'explosion du ballon. Ceci étant sûrement dû à la vitesse élevée de la chute de la nacelle et aux courants d'air qui y rentrent.



Enfin, même si on n'a pas pu récupérer l'altitude à laquelle le ballon a explosé, on peut quand même tenter d'en faire une approximation. En effet, nous savons à peu près à quel instant cela a eu lieu. De plus, la vitesse d'ascension du ballon semble être à peu près linéaire (même si ce n'est pas le cas, car elle aurait plutôt tendance à se réduire dans la stratosphère). On connaît déjà la vitesse d'ascension durant la première heure avec la courbe d'altitude. Le résultat est d'environ 15 Km/h. Puisque le vol a duré 2 heures environ (voir l'explication dans le paragraphe sur la température extérieure), on peut émettre l'hypothèse que le ballon a atteint une altitude d'environ 30 Km avant d'exploser.

COMMUNICATION

Un communiqué de presse fut envoyé au « Courrier de l'Ouest » en juin ce qui donna lieu à un rendez-vous en juillet où seuls Antoine Lenormand et Simon Champenois purent se rendre.

Communiqué de presse :

Le club aérospatial de l'ESEO lance une sonde en haute altitude.

Le club aérospatial de L'ESEO a lancé le jeudi 27 mai une sonde destinée à réaliser des mesures de pression et de température dans la troposphère (couche de l'atmosphère dans laquelle nous vivons) et la stratosphère (couche de l'atmosphère comprise entre 15000 m et 50000 m d'altitude).

Cette sonde, baptisée « Phoenix » par les quatre étudiants de l'ESEO qui l'ont réalisée fut lancée de Vitré avec le concours de Planète Sciences, du CNES et de Motorola qui a fourni le capteur le plus important : celui mesurant la pression. Entre autres les capteurs, cette sonde était composée d'un émetteur permettant d'obtenir directement les résultats des mesures au sol. Cette nacelle s'est élevée à près de 30000 mètres à 18 Km/h grâce à un ballon rempli d'hélium. Des mesures furent transmises pendant plus de 2h30.

Arrivé là, le ballon a explosé et la nacelle s'est mise à redescendre à la vitesse vertigineuse de 200 Km/h. Un parachute a alors freiné sa chute pour se poser calmement au sol.

Une heure après que le signal a été perdu, la sonde fut retrouvée du côté de Bécon-les-Granits (à 20 Km d'Angers) par la chienne Toupie qui se promenait en compagnie de son maître monsieur Vincent David.

Cette expérience a permis aux étudiants de monter un projet scientifique mettant à l'épreuve leurs connaissances techniques confrontées à des conditions extrêmes. En effet, en haute altitude la nacelle fut soumise à des températures inférieures à -50°C et à des pressions très faibles.

Les ballons sondes sont les seuls capables d'aller à ces altitudes aussi facilement. Ce type de projet permet de mieux connaître notre planète ainsi que la composition et l'état de son atmosphère.



Figure 1 : après la récupération de la nacelle avec Toupie et monsieur Vincent David

Article paru dans le courrier de l'ouest le 30 Juillet 2004 :

Questions à

Antoine Lenormand et Simon Champenois

Elèves ingénieurs à l'ESEO d'Angers.

Ces élèves du club Aérospatial de l'ESEO ont lancé une sonde en haute altitude, afin de mettre en pratique leurs connaissances, notamment en électronique.

1 Comment est né ce projet ?

2 Comment s'est passé le lancement ?

3 Quel bilan tirez-vous de cette expérience et quels sont vos futurs projets ?

1 En septembre 2003, nous avons repris le club Aérospatial de l'école, qui avait été abandonné. Nous étions quatre étudiants, et l'idée de lancer une sonde en haute altitude est très vite venue. C'était un bon moyen d'appliquer nos connaissances en mécanique et en électronique. Pendant huit mois, nous avons donc travaillé pour mener à bien ce projet. Il faut noter qu'il ne rentrait pas dans nos obligations scolaires, c'était un pur loisir. Il a fallu rentrer en contact avec le Centre national d'études spatiales et Planète Science, qui nous ont très vite fait confiance. Du point de vue technique, le ballon, le déflecteur de radar et le parachute nous ont été fournis. Il a fallu construire la nacelle et mettre au point le circuit électronique.

2 Nous avons lancé la sonde le 27 mai à Vitry, en Mayenne. Gonflé à l'hélium, le ballon s'est élevé à plus de 30 kilomètres. A l'aide des capteurs qui composaient le circuit électronique, nous avons pu mesurer l'évolution de la température en fonction de l'altitude. Ce qui fut intéressant, c'est que les résultats nous étaient transmis en direct.



Antoine Lenormand et Simon Champenois

Pendant près de trois heures, nous avons pu ainsi mesurer les évolutions de température dans la troposphère, la tropopause et la stratosphère.

3 C'est une expérience très enrichissante. D'abord, nous avons obtenu les résultats attendus, ce qui prouve la fiabilité de notre sonde. Ce projet nous a permis d'apprendre le travail en groupe, qui sera notre quotidien dans la vie professionnelle. Cela nous a également ouvert d'autres horizons, avec pour quoi l'envie de travailler plus tard dans l'aérospatiale. Pour l'an prochain, si nous pouvons mener cela de front avec nos études, nous aimerions renouveler l'expérience. Il faudra alors viser plus loin, en élaborant un circuit électronique plus complexe. L'idée, ce serait d'installer un appareil photo à bord de la nacelle.

Romain Berthelot

Enfin, de la communication au sein de l'école fut faite. Un article fut publié dans le journal de l'école, « le Pingouin », et la nacelle fut exposée dans le hall de l'école. De plus, une intervention avait eu lieu en décembre devant toute la promotion des élèves de première année d'ingénieur pour expliquer le projet.

Détail n°2 : Air et Cosmos



Judi dernier le club Air et Cosmos s'est déplacé à Vitré (35) pour lancer son ballon sonde « Phoenix ». Après quelques problèmes de mise en route de l'électronique, Phoenix a été lâché peu avant 16h dans de bonnes conditions.

Rapidement la nacelle a gagné les cieux transmettant au sol des mesures sur la pression et la température.

Le signal fut perdu vers 18h40. Phoenix a donc volé pendant 2h45, montant jusqu'à 30 000 mètres d'altitude, affrontant des températures inférieures à -50°C et parcourant près de 100 km.*

Deux heures après la perte du signal, la nacelle fut rendue par Monsieur Clément David et sa chienne Toupie qui l'avait retrouvée aux alentours d'Angers. Reste à exploiter les résultats...

Air et Cosmos

Figure 6: article du Pingouin paru début Juin 2004