

TPE

Réalisation d'un ballon-sonde
dans le but d'effectuer
son suivi ascensionnel

CASTILLON Pierre
GOETZ Georges
BOSSEBOEUF Guillaume
ROSSIG Stephan
VIDEIRA Antoine

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	1
II.	DEFINITION DES EXPERIENCES.....	2
1.	ORGANISATION DE LA CHAINE DE VOL	2
2.	PRESENTATION DES EXPERIENCES	3
2.1	Mesure de température intérieure, montage simple	3
2.2	Mesure de température extérieure, montage simple	3
2.3	Mesure de température extérieure, montage complexe	3
2.4	Mesure de pression absolue.....	3
2.5	Télémesure Kiwi	3
2.6	Prise de photos	3
2.7	Largage nacelle secondaire.....	3
3.	ORGANIGRAMME DES TACHES	4
4.	PLANNING DE REALISATION.....	5
5.	REVUE D'OBJECTIF	6
III.	CONCEPTION DES EXPERIENCES.....	7
1.	MESURES DE TEMPERATURES SIMPLES	7
1.1	Présentation de l'expérience	7
1.2	Caractéristiques du capteur	8
1.2.1	Caractéristiques théoriques	8
1.2.2	Caractéristiques mesurées	9
1.3	Schéma électrique	9
1.4	Prévision des mesures de la température extérieure.....	10
1.5	Montage de mise au point	11
2.	MESURE DE TEMPERATURE EXTERIEURE COMPLEXE	12
2.1	Présentation de l'expérience.....	12
2.2	Caractéristiques du capteur	12
2.3	Schéma électrique	12
2.4	Prévision des mesures	13
2.5	Montage de mise au point	16
3.	MESURE DE PRESSION ABSOLUE	17
3.1	Présentation de l'expérience	17
3.2	Caractéristiques du capteur	17
3.2.1	Caractéristiques théoriques	17
3.2.2	Caractéristiques mesurées	17
3.3	Schéma électrique	18
3.4	Prévision des mesures	18
3.5	Montage de mise au point	19
4.	PRISE DE PHOTOS.....	20
4.1	Présentation de l'expérience	20
4.2	Caractéristiques de l'appareil photo	21
4.3	Conception de la commande de la prise de photos	21
4.4	Prévision des mesures	22
4.5	Montage de mise au point	22
4.6	Détermination de l'ouverture angulaire de l'appareil photo.....	23
5.	LARGAGE DE LA NACELLE SECONDAIRE	26
5.1	Présentation de l'expérience	26
5.2	Réalisation de l'expérience	26
5.2.1	Choix du système de largage.....	26
5.2.2	Conception du système de largage	26
5.3	Montage de mise au point	27
6.	INTEGRATION ELECTRIQUE	28
7.	INTEGRATION MECANIQUE	31
8.	REVUE DE CONCEPTION	34

IV. QUALIFICATION DES NACELLES.....	35
1. VERSION DEFINITIVE DES NACELLES.....	35
2. REVUE DE QUALIFICATION	37
V. LACHER DU BALLON	38
1. CHRONOLOGIE.....	38
2. LE JOUR DU LACHER	40
VI. EXPLOITATION DES MESURES	42
1. MESURES DE TEMPERATURE SIMPLES	42
2. MESURE DE TEMPERATURE EXTERIEURE COMPLEXE	44
3. MESURE DE PRESSION.....	47
4. PRISE DE PHOTOS.....	48
5.1 <i>La vitesse du ballon est supposée constante.....</i>	<i>50</i>
5.2 <i>Les photos sont supposées avoir été prises au bon moment.....</i>	<i>50</i>
5. LARGAGE DE LA NACELLE SECONDAIRE	51
6. REVUE D'EXPLOITATION	52
VII. BILAN DU PROJET.....	53
VIII. BIBLIOGRAPHIE	54

I. Introduction

Ce projet a été réalisé dans le cadre des TPE au lycée. Il s'agissait d'effectuer un travail à caractère scientifique en groupe, sur un sujet de notre choix.

Nous avons choisi de réaliser un ballon sonde avec le soutien de Planète Sciences qui encadre dans toute la France des projets de ce type, depuis le niveau école primaire jusqu'au niveau école d'ingénieurs, en passant par des clubs indépendants. Son antenne sur Bordeaux est l'AJSEP.

Les ballons-sondes de Planète Sciences doivent impérativement être réalisés par un groupe d'amateurs engagés dans une démarche « projet ». Nous remplissions ces critères de par l'organisation des TPE. Une autre condition était la réalisation d'expériences scientifiques, justifiant le financement du projet à hauteur de 150€, en plus du don d'un émetteur, d'une enveloppe de ballon-sonde, d'hélium, de parachutes et de réflecteurs radars par le CNES.

Un des thèmes proposés cette année dans le cadre des TPE était l'espace et le mouvement. Nous avons donc choisi de nous intéresser à la problématique de l'étude de la trajectoire verticale d'un ballon-sonde. Dans cette optique, nous avons décidé de réaliser deux nacelles embarquant des expériences scientifiques destinées à l'étude de l'ascension du ballon, par mesure de température, de pression, et prise de photos.

Le projet a commencé durant l'année de Première, au cours de laquelle nous avons formé le groupe et défini les expériences que nous souhaitions embarquer.

Le groupe est composé de 5 personnes, dont les rôles n'étaient pas clairement définis au départ. Mais il est rapidement apparu qu'il nous fallait nous organiser, définir les tâches, et leur affecter un responsable (*cf. II.8. Organigramme des Tâches*).

Le présent document est le compte-rendu de notre travail au cours des années de Première et de Terminale sur ce projet, baptisé Grumly. Le sommaire nous ayant été imposé par le suiveur de l'AJSEP.

II. Définition des expériences

1. Organisation de la chaîne de vol

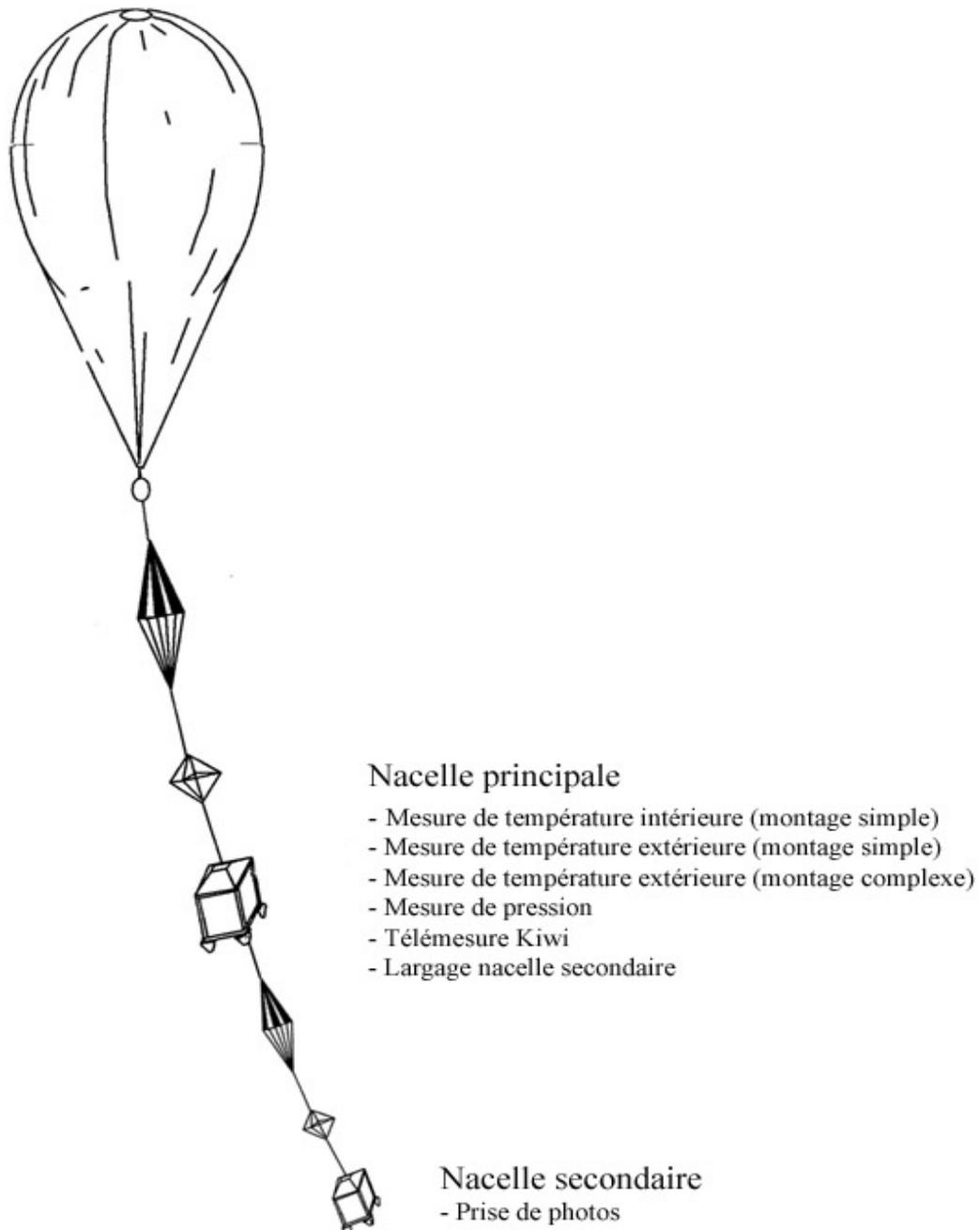


Fig. 1 : Les expériences embarquées de Grumly

2. Présentation des expériences

2.1 Mesure de température intérieure, montage simple

- Objectif de l'expérience : suivi de la température au sein de la nacelle principale durant l'ascension du ballon, permettant de vérifier que les autres capteurs dans la nacelle sont dans des conditions de fonctionnement correctes
- Principe retenu : thermo résistance (CTN) exploitée par pont diviseur
- Responsable : Guillaume Bosseboeuf

2.2 Mesure de température extérieure, montage simple

- Objectif de l'expérience : relevé du profil thermique de l'atmosphère traversée, suivi vertical du ballon au cours de son ascension puis de sa descente
- Principe retenu : pont diviseur comportant une CTN
- Responsable : Guillaume Bosseboeuf

2.3 Mesure de température extérieure, montage complexe

- Objectif de l'expérience : identique à celui de l'expérience précédente, doit aussi permettre de comparer deux technologies, à savoir deux branchements électriques différents
- Principe retenu : CTN dans un montage électronique à base d'amplificateurs opérationnels
- Responsable : Georges Goetz

2.4 Mesure de pression absolue

- Objectif de l'expérience : suivi vertical de l'altitude du ballon
- Principe retenu : capteur de pression absolue
- Responsable : Antoine Videira

2.5 Télémessure Kiwi

- Objectif de l'expérience : retransmission en temps réel des mesures effectuées par les différents capteurs
- Principe retenu : émetteur Kiwi Millénium
- Responsable : Antoine Videira

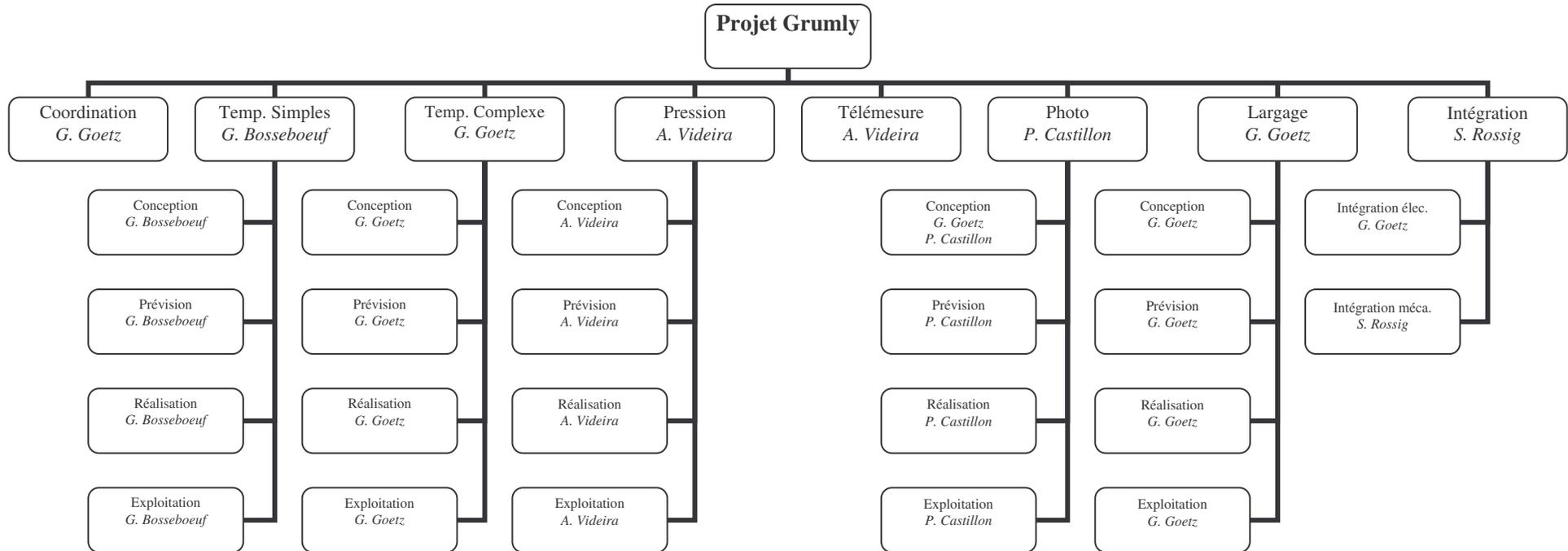
2.6 Prise de photos

- Objectif de l'expérience : prise de photos du site lancement depuis la nacelle secondaire, permettant un suivi vertical du ballon au cours des premières minutes de l'ascension
- Principe retenu : déclenchement mécanique d'un appareil photo
- Responsable : Pierre Castillon

2.7 Largage nacelle secondaire

- Objectif de l'expérience : récupération des photos
- Principe retenu : minuterie électronique commandant un électroaimant
- Responsable : Georges Goetz

3. Organigramme des tâches



4. Planning de réalisation

<i>Date</i>	<i>Evènement</i>	<i>Objectif</i>
16 mai 2004	Revue d'Objectif	<ul style="list-style-type: none">- Parcours du cahier des charges- Examen des objectifs- Organisation du groupe- Explication sur les revues et le planning
4 juillet 2004	Revue de Conception (première partie)	<ul style="list-style-type: none">- Examen des schémas électriques- Examen des systèmes mécaniques- Engagement de l'achat des composants
9 septembre 2004	Revue de Conception (seconde partie)	<ul style="list-style-type: none">- Vérification de la compatibilité KIWI/montages- Vérification du fonctionnement des montages à blanc- Vérification du fonctionnement des systèmes mécaniques
14 novembre 2004	Revue de Qualification	<ul style="list-style-type: none">- Les nacelles sont réalisées- Les montages électriques sont câblés et fonctionnent- Les nacelles sont conformes au cahier des charges
27 novembre 2004	Lâcher du Ballon	<ul style="list-style-type: none">- Tout fonctionne, le ballon est prêt à être lâché
9 janvier 2004	Revue d'Exploitation	<ul style="list-style-type: none">- Exploitation des données retransmises par télémesure- Exploitation des photos

5. Revue d'objectif

La revue d'objectif a eu lieu le Dimanche 16 mai 2004 à 10 heures.
Étaient présents : Georges Goetz. Le reste de l'équipe était excusé.

Au cours de cette revue, le cahier des charges a été parcouru, afin de s'assurer qu'il n'existe aucun point litigieux.

Les objectifs des expériences ont été vérifiés, et il est apparu qu'il fallait ajouter un objectif scientifique à la prise de photos. Nous chercherons donc à déterminer l'altitude de la nacelle au moment de chaque prise de photo à partir du cliché obtenu.

Une organisation plus poussée du groupe est aussi nécessaire : affecter plusieurs personnes à une même expérience ne permet pas un fonctionnement optimum.

Les tâches suivantes ont donc dû être réparties :

- mesures de températures interne et externe simples
- mesure de température externe complexe
- mesure de pression
- prise de photo et son mécanisme
- fabrication des nacelles 1 et 2
- schéma du retardateur et conception mécanique du largage de la deuxième nacelle
- montage du kiwi et son interrupteur
- coordination d'ensemble du projet
- intégration électrique

L'organisation du travail et les échéances des différentes revues ont aussi été expliquées clairement, les différentes dates butoir fixées.

Le dossier devra aussi suivre un sommaire imposé par le suiveur.

III. Conception des expériences

1. Mesures de températures simples

1.1 Présentation de l'expérience

Cette expérience a pour but de mesurer les variations de température à l'intérieur et à l'extérieur de la nacelle au fur et à mesure de l'ascension du ballon, ce qui peut ensuite donner lieu à son suivi vertical. En effet, la température de l'atmosphère dépend de l'altitude et donc il est possible de déduire le mouvement dans l'espace d'un objet en ayant des relevés de ce paramètre physique en fonction du temps. Les valeurs moyennes pour la latitude de 45° sont reportées dans des tables d'atmosphère standard (cf. annexe 2), mises à disposition du grand public.

Avec la mesure extérieure nous pourrions ainsi déterminer la vitesse verticale du ballon. Le suivi de la température intérieure nous permettra de vérifier que les composants de la nacelle sont dans des conditions de fonctionnement satisfaisantes.

Un capteur de température sera donc placé à l'intérieur de la nacelle, un autre à l'extérieur. Ils seront intégrés à un circuit électronique relié à un système de télémétrie Kiwi qui transmettra les données analogiques au sol.

Sur le graphique ci-dessous est représentée la variation de la température de l'atmosphère en fonction de l'altitude, donnée par les tables d'atmosphère standard.

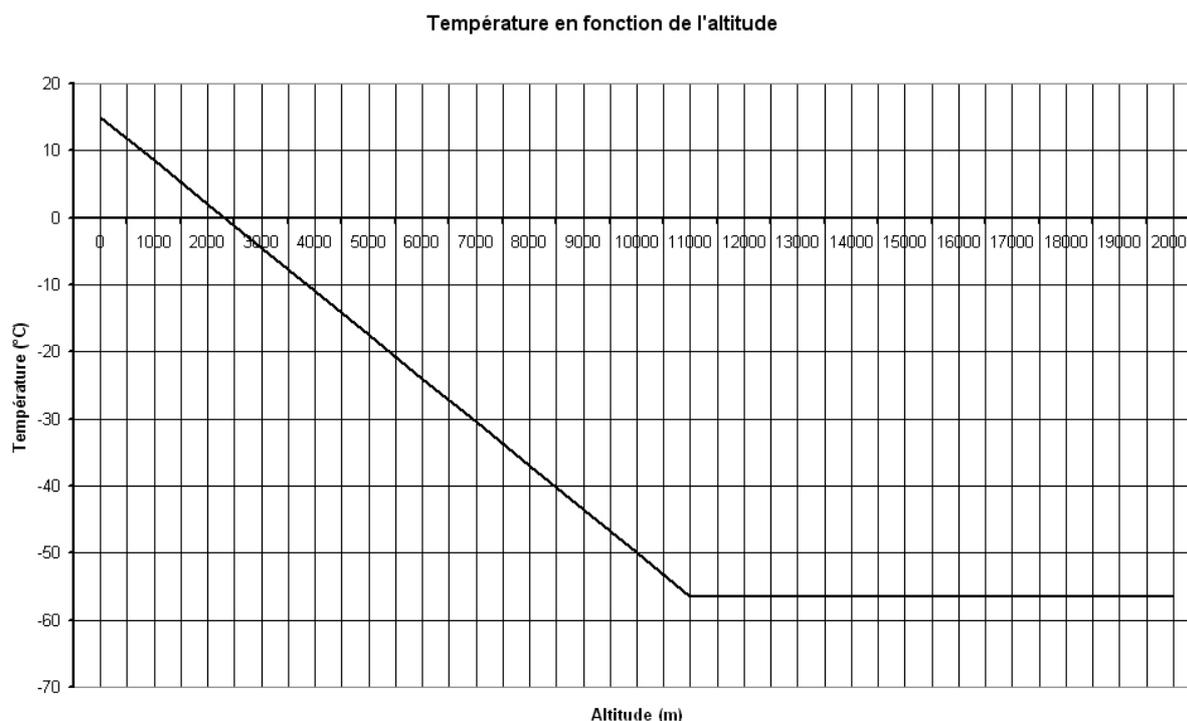


Fig. 2 : Température en fonction de l'altitude (issu des tables d'atmosphère standard)

La température de l'atmosphère décroît régulièrement jusqu'à -56°C . On se trouve alors vers 11 Km d'altitude. Elle reste ensuite presque constante jusqu'à 30 Km, au delà de la zone d'éclatement du ballon située vers 25 Km environ. Le coude dans la courbe de température permet de détecter la Tropopause, limite entre la Troposphère et la Stratosphère. Des vents Ouest Est violents y circulent, qui peuvent atteindre 200 Km/h selon les saisons. Ceci explique en partie les grandes distances horizontales parcourues par les ballons.

Le rayonnement solaire influence directement la température. Ainsi, quand le soleil chauffe le capteur, la température mesurée peut être très différente de celle que l'on aurait obtenue à l'ombre. Sans précaution, un capteur en vue direct du soleil peut indiquer $+10^{\circ}\text{C}$ à 15 Km alors qu'à cette altitude une température de -56°C est une valeur attendue. Pour minimiser ces perturbations, le capteur externe devra être protégé du rayonnement direct, par exemple grâce à un pare soleil blanc.

1.2 Caractéristiques du capteur

1.2.1 Caractéristiques théoriques

En électronique, on peut définir arbitrairement deux niveaux de difficulté :

- un niveau simple où l'on utilise exclusivement des composants passifs (résistances, condensateurs, contacts, relais, interrupteurs, LED, ampoules, photodiodes, etc.)
- un niveau plus complexe où, en plus des composants passifs, on emploie des composants actifs (amplificateurs opérationnels, transistors, diodes, etc.).

Dans ce montage simple nous utiliserons une thermistance (CTN).

La thermistance est un composant passif en matériau semi-conducteur. Sa résistance varie en fonction de la température selon une loi du type :

$$R(T) = R(T_0) \times e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

Les températures sont exprimées en Kelvin, $T_0 = 25^{\circ}\text{C} \approx 298 \text{ K}$.

$R(T_0)$ et B sont des constantes caractéristiques du composant.

Les thermistances à coefficient de température négatif (CTN) sont des composants dont la résistance augmente lorsque la température du milieu dans lequel elles se trouvent diminue. Les thermistances ne sont pas sensibles à la pression.

Nous avons choisi pour nos expériences une thermistance de *VISHAY BCComponents* référencée n° 2322 640 5.103. Ses caractéristiques sont données en annexe 1.

1.2.2 Caractéristiques mesurées

Nous avons testé le schéma électrique réalisé à blanc pour plusieurs valeurs de température, (température ambiante, extérieure, puis avec un glaçon), et les mesures ont semblé correspondre avec celles de la documentation technique.

1.3 Schéma électrique

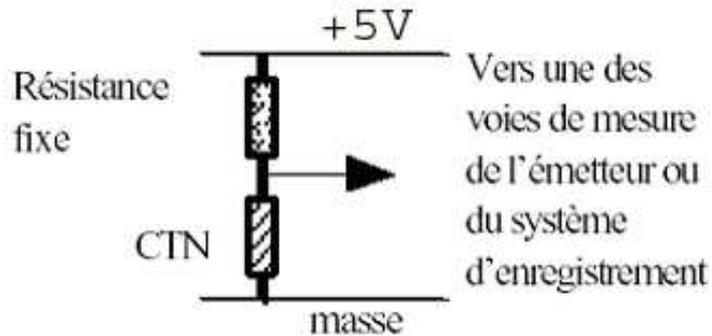


Fig. 3 : schéma électrique des mesures de température simples

L'intensité est constante dans le circuit. On nomme V la tension de sortie. En appliquant la loi d'Ohm on obtient l'égalité suivante :

$$\frac{5}{R_{ctn} + R_{fixe}} = \frac{V}{R_{ctn}}$$

Soit encore :

$$V = \frac{5 \times R_{ctn}}{R_{ctn} + R_{fixe}}$$

On veut que la plage de tensions utilisée pour chaque mesure soit maximale. Or la température varie différemment à l'intérieur et à l'extérieur de la nacelle. La valeur de la résistance fixe doit donc être adaptée à chaque expérience.

Pour le capteur de température à l'intérieur de la nacelle, nous avons au préalable essayé de simuler un vol. Une maquette du ballon en polystyrène extrudé a été réalisée. Nous avons relevé la température au sein de la boîte placée dans un congélateur à -20°C à intervalles réguliers dans le temps (durée de l'expérience : 75 minutes). Le minimum observé a été de -5°C . Par précaution nous avons prévu une plage allant de -20°C (au lieu de -5°C) à $+15^{\circ}\text{C}$ (température ambiante en hiver) pour le capteur de température intérieure. Une résistance fixe de $30\text{k}\Omega$ permet alors de couvrir de façon optimale la plage 0-5V pour la tension V . Cette valeur a été obtenue par calculs et essais successifs.

Pour le capteur de température extérieure, la plage de variations étant de -56°C à 15°C , nous avons choisi une résistance fixe de $100\text{K}\Omega$ en procédant de la même façon.

1.4 Prédiction des mesures de la température extérieure

Le graphique ci-dessous représente la variation théorique de la température en °C en fonction de la durée de l'ascension pour un ballon dont la vitesse ascensionnelle est de 5m/s.

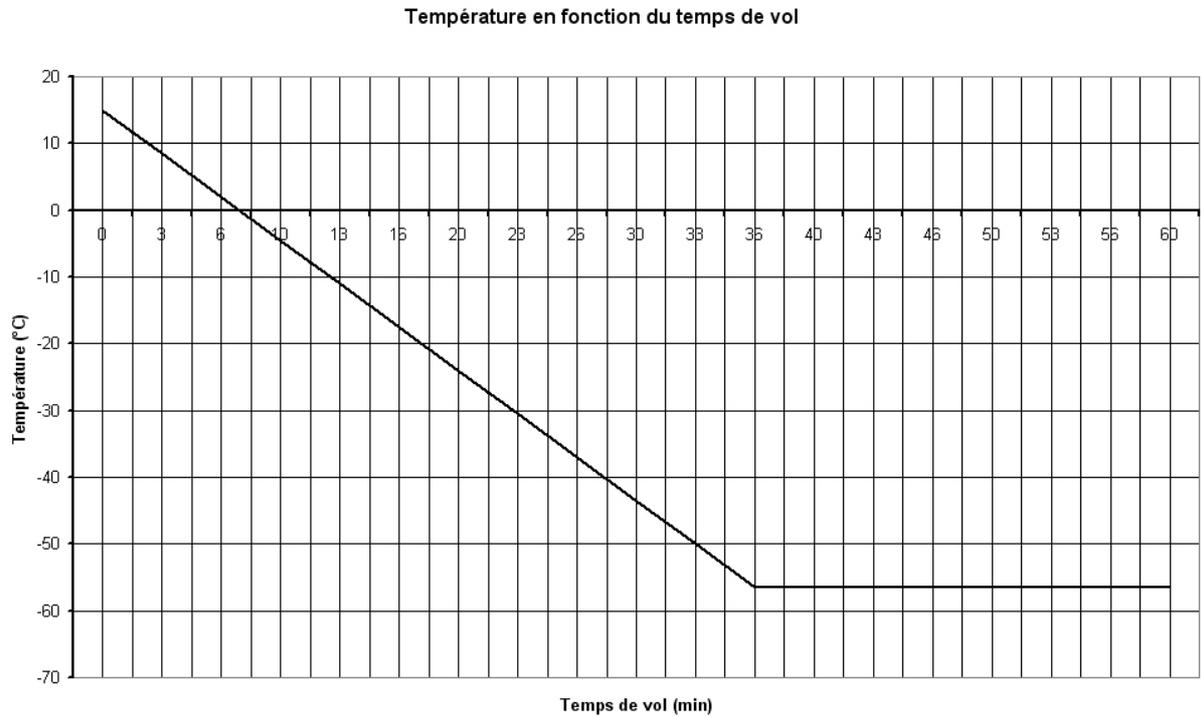


Fig. 4 : Température en fonction du temps de vol écoulé

Le graphique ci-dessous représente la valeur de la tension en V en fonction de la température extérieure en °C, obtenu à l'aide de la formule donnant la tension en fonction de la résistance de la CTN et de ses caractéristiques.

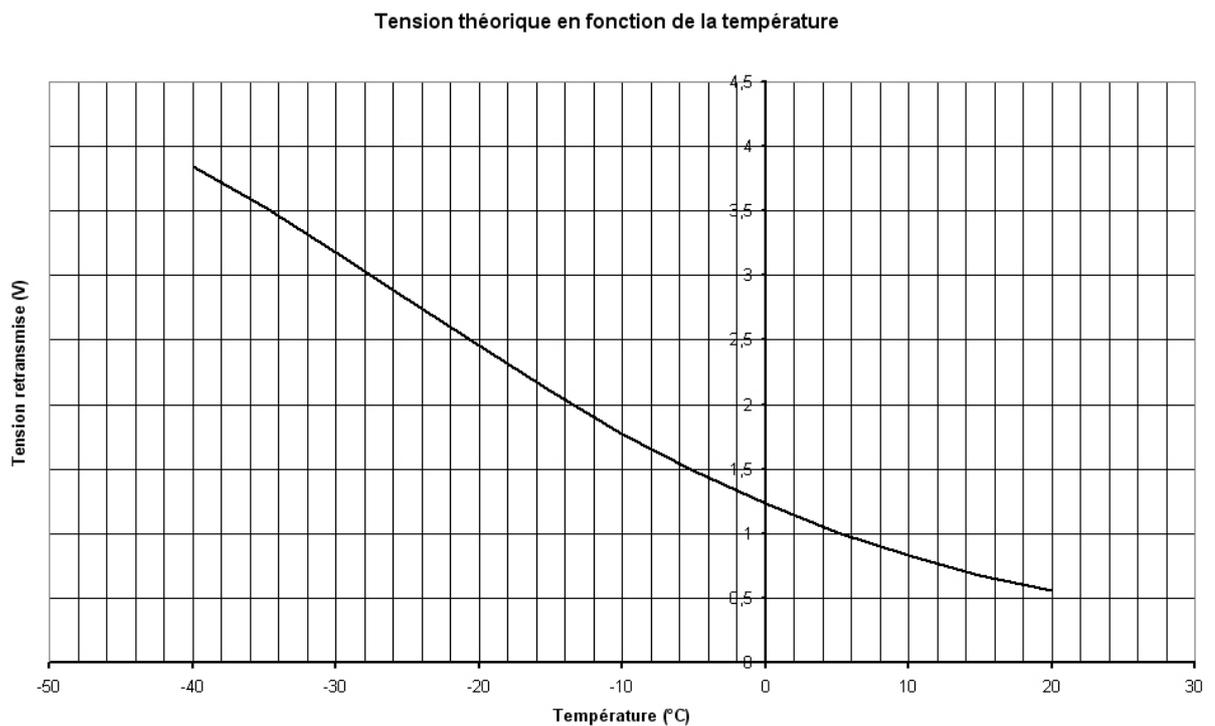


Fig. 5 : Tension en fonction de la température

Ce graphique ci-après la variation de la tension en fonction de l'altitude en mètres.

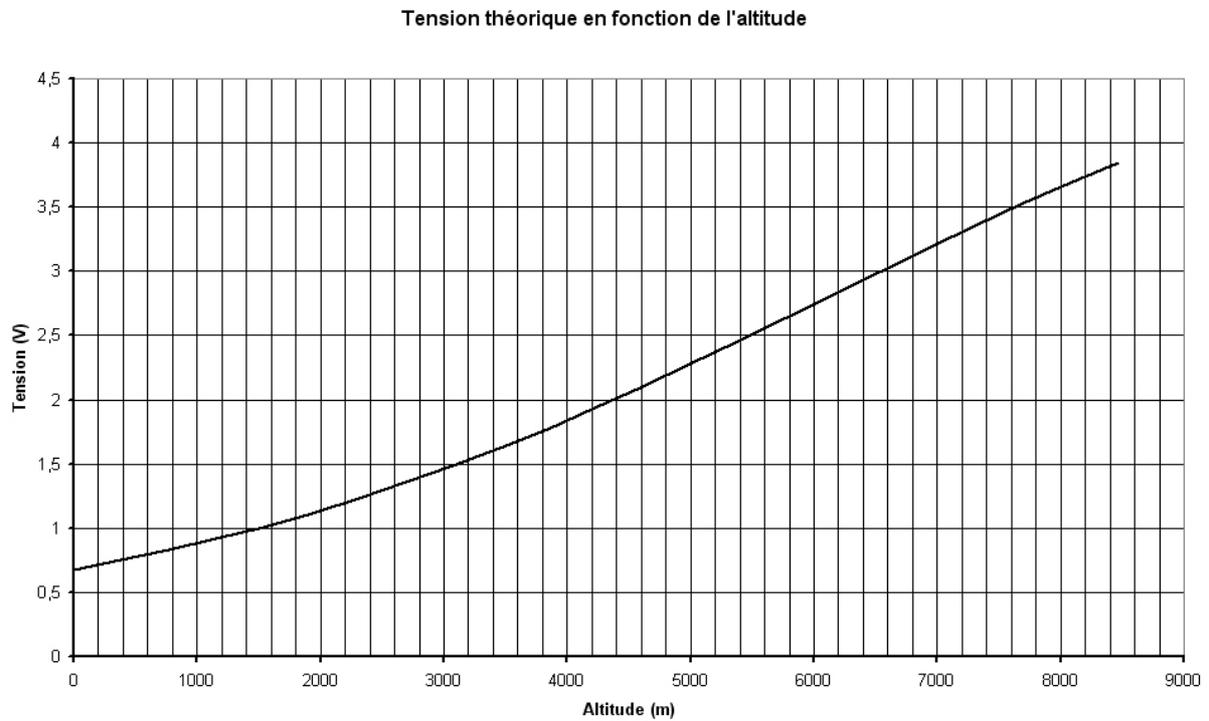


Fig. 6 : Tension en fonction de l'altitude

1.5 Montage de mise au point

Les montages provisoires ont été réalisés sur une marguerite, ce qui a permis de vérifier leur bon fonctionnement.

2. Mesure de température extérieure complexe

2.1 Présentation de l'expérience

La température est une grandeur physique qui dépend de l'altitude, c'est pourquoi nous avons choisi de la mesurer dans le but d'effectuer un suivi vertical du ballon tout au long de son vol. Il existe des tables, dites d'« atmosphère standard », donnant la température théorique en fonction de l'altitude, avec une marge d'erreur réduite.

Ces tables ont à l'origine été créées par l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) afin de permettre l'étalonnage d'instruments de vol et l'homologation de records d'altitude. Elles se basent sur une température au sol de 15°C.

Cette mesure de température s'effectue de manière indépendante du précédent montage, et doit aussi servir à contrôler ce dernier. Les montages électroniques utilisés pour les deux premières mesures de températures sont moins complexes que celui utilisé ici.

Comme pour les deux premières expériences, nous avons décidé d'utiliser une CTN (résistance à Coefficient de Température Négatif), le modèle 2322 640 5103 de *BC Components*, dont la résistance augmente lorsque la température diminue.

2.2 Caractéristiques du capteur

La documentation technique est jointe en annexe 1.

2.3 Schéma électrique

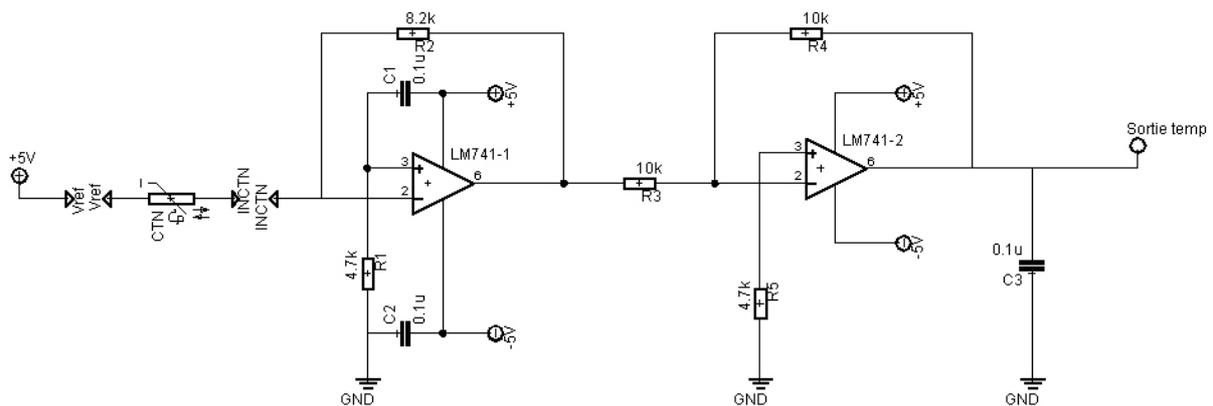


Fig. 7 : Schéma électrique de l'expérience de mesure de température 2

Ce montage comporte deux amplificateurs opérationnels utilisés en amplificateur-inverseur. Ainsi, le LM741-1 délivre une tension de sortie U fonction de la résistance de la CTN R_{ctn} , de la valeur de R_2 et de la tension initiale V selon la relation :

$$U = \frac{-R_2}{R_{ctn}} \times V$$

Le second amplificateur opérationnel est utilisé de la même manière, et on a donc :

$$U = \frac{-R_4}{R_3} \times \frac{-R_2}{R_{ctn}} \times V$$

Or $R_4 = R_3$, donc on a :

$$U = \frac{R_2}{R_{ctn}} \times V$$

Les différents condensateurs présents servent à filtrer les signaux électriques pouvant être perturbés par l'émetteur KIWI, malgré le blindage en papier d'aluminium rajouté lors de la fabrication de la nacelle.

2.4 Prévision des mesures

La documentation de la CTN donnant la résistance du composant en fonction de la température, nous avons réalisé à l'aide de la formule ci dessus une courbe donnant la tension théorique transmise par le KIWI en fonction de la température.

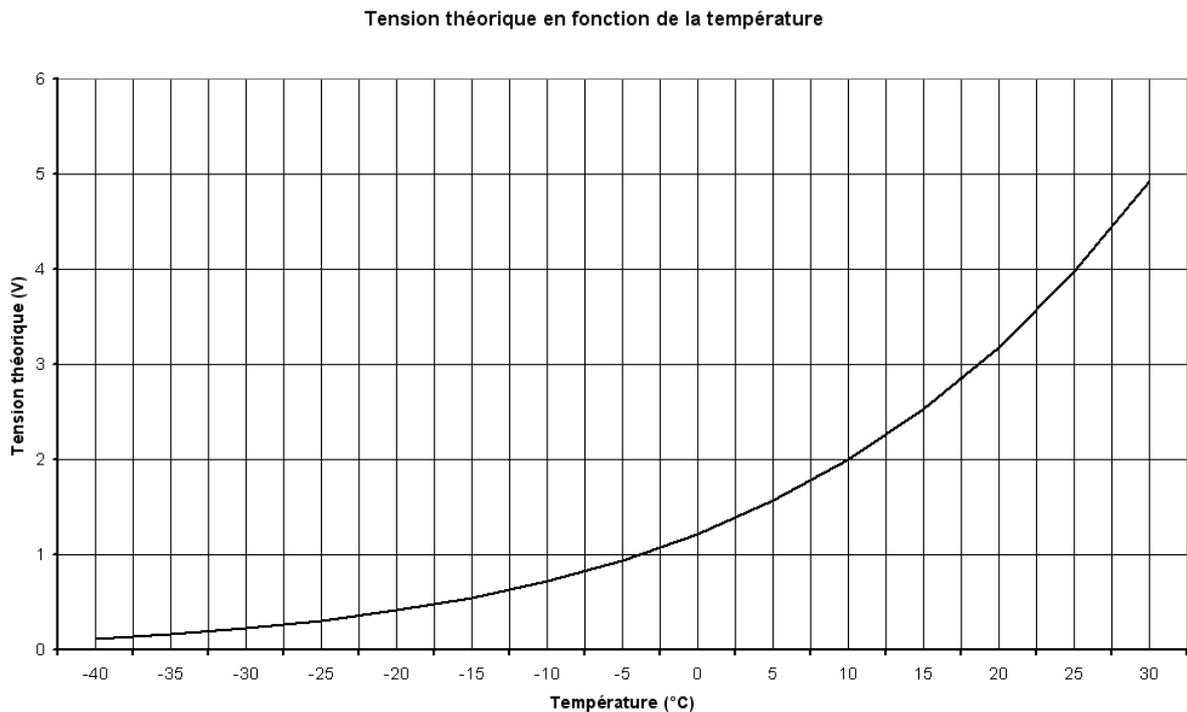


Fig. 8 : Tension théorique transmise par le KIWI en fonction de la température

Il nous fallait obtenir une courbe donnant la tension en fonction de l'altitude. La table d'atmosphère standard nous fournit les températures en fonctions de l'altitude, mais la documentation constructeur de la CTN ne donne pas les valeurs de résistances associées à ces températures.

Nous avons donc cherché à approximer la relation qui lie la tension théorique à la température par une fonction polynomiale. La fonction la plus proche trouvée est un polynôme de degré 4 (moyenne des écarts par rapport à la tension théorique : 0.00017, écart-type de ces écarts : 0.00147) :

$$f(x) = 1.2218 \times 10^{-7} \times x^4 + 1.829361 \times 10^{-5} \times x^3 + 1.397 \times 10^{-3} \times x^2 + 6.1824 \times 10^{-2} \times x + 1.217823$$

Approximation polynomiale de la tension théorique en fonction de la température

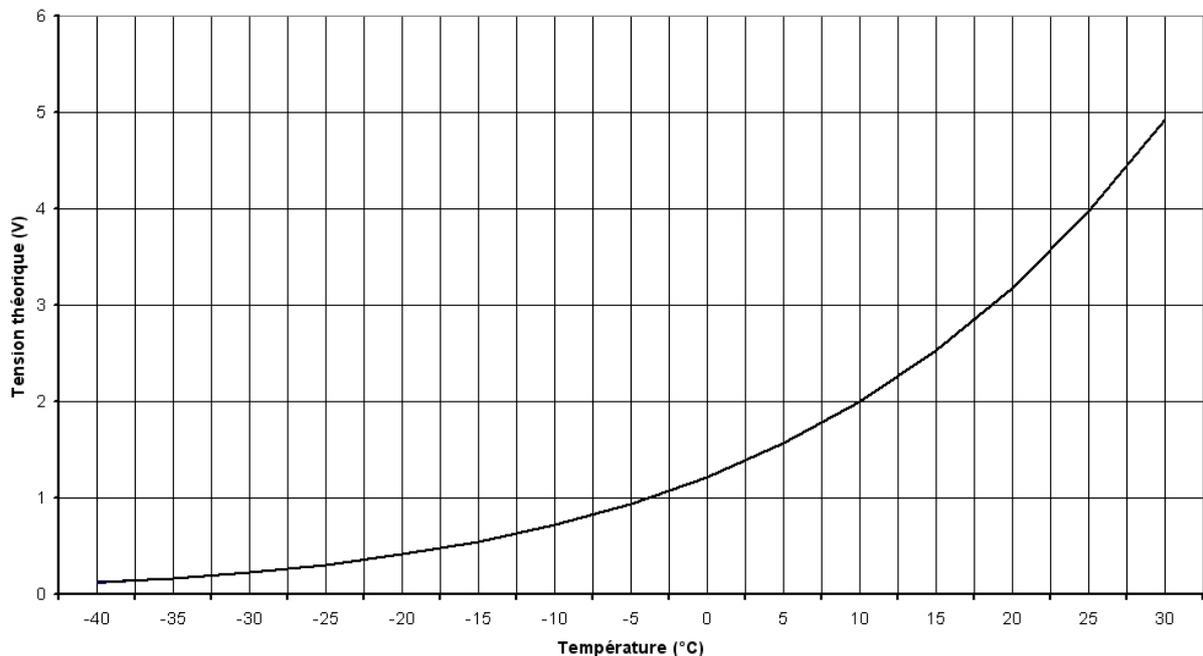


Fig. 9 : Approximation polynomiale de la relation tension théorique - température

La courbe ci-après donne l'écart en valeur absolue entre tension théorique et tension théorique approximée, en fonction de la température. Il est de l'ordre de 10^{-3} Volts. Les erreurs commises sont donc minimales, bien en dessous de la précision de nos capteurs et de nos montages. Nous pouvons considérer cette approximation polynomiale comme correcte.

Erreurs dues à l'approximation polynomiale de la tension en fonction de la température

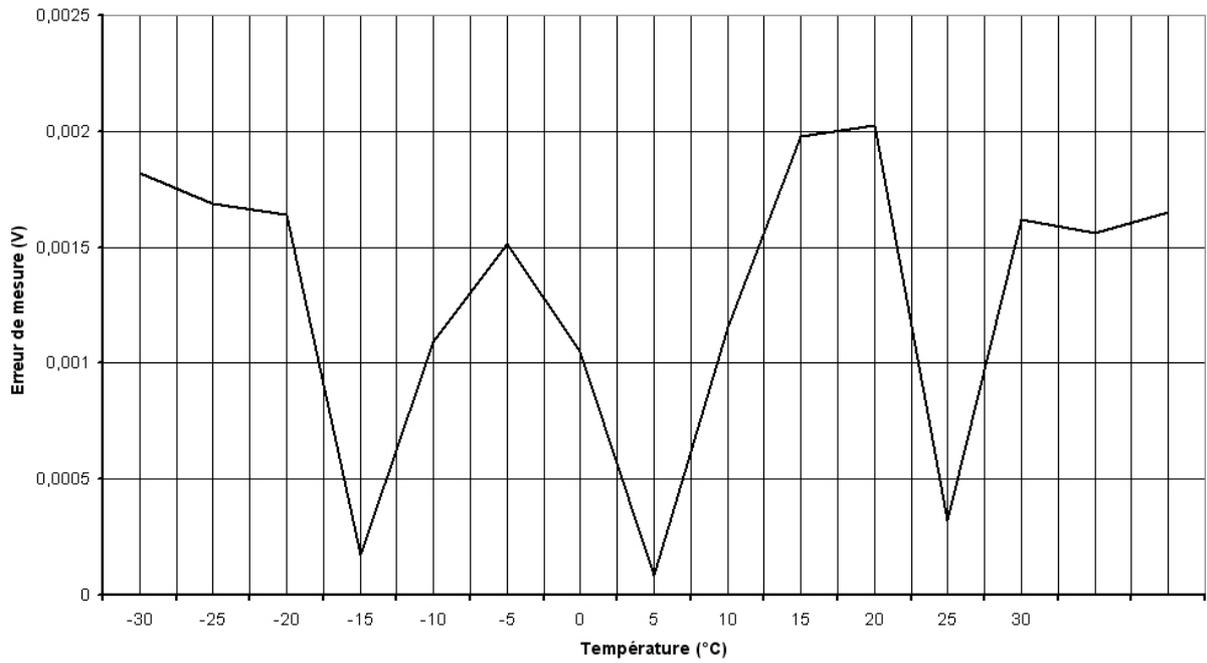


Fig. 10 : Erreurs dues à l'approximation polynomiale

A l'aide de la table d'atmosphère standard qui donne les températures pour des altitudes particulières, il a ensuite été possible de construire un graphe donnant la tension théorique transmise par le KIWI en fonction de l'altitude.

Tension théorique en fonction de l'altitude

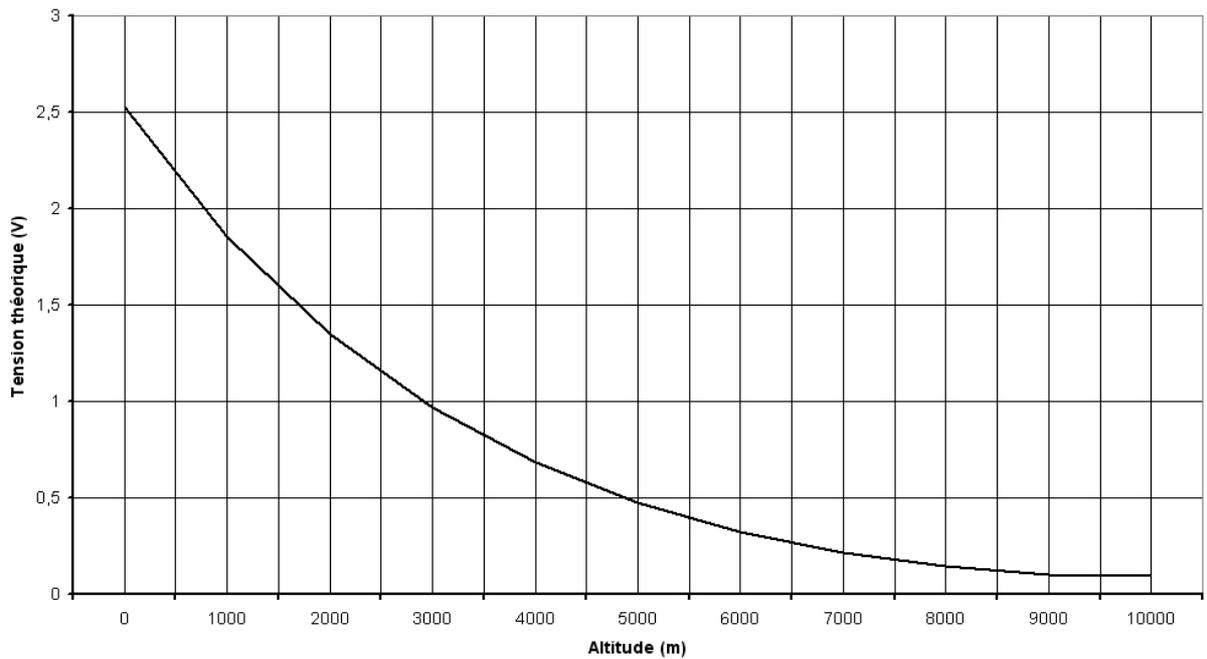


Fig. 11 : Tension théorique retransmise en fonction de l'altitude

Nous avons finalement construit une courbe donnant la tension théorique en fonction du temps, en se basant sur une vitesse ascensionnelle du ballon de 5 m/s au cours des 10 premiers kilomètres de l'altitude. Cette vitesse moyenne nous a été précisée par l'aérotechnicien, qui choisit la quantité d'hélium nécessaire pour qu'elle soit respectée, compte tenu de la masse des nacelles.

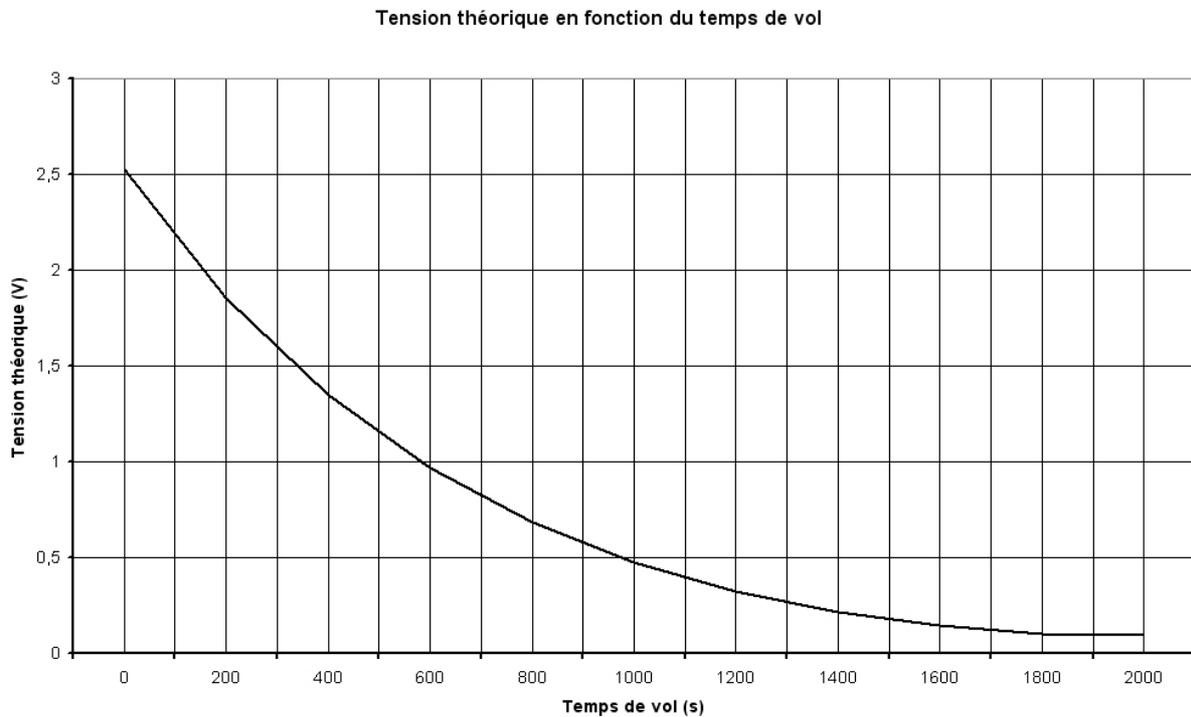


Fig. 12 : Tension théorique en fonction du temps de vol

2.5 Montage de mise au point

Le montage provisoire a été réalisé sur une marguerite, afin de vérifier qu'il fonctionnait correctement.

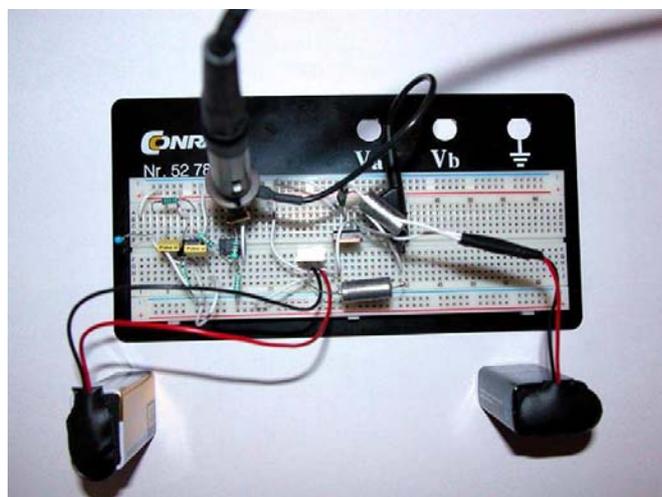


Fig. 13 : Montage provisoire de la carte de température complexe (gauche) et de la carte d'alimentation (droite)

3. Mesure de pression absolue

3.1 Présentation de l'expérience

Le but de l'expérience va être de déterminer à quelles conditions de pression le ballon sonde est soumis lors de son ascension, et ainsi suivre son mouvement vertical. La pression dépend en effet directement de l'altitude, conformément aux tables d'atmosphère standard de l'annexe 1.

Ces tables montrent que la pression diminue au fur et à mesure que le ballon prend de l'altitude. Partant d'une valeur de 1013 hPa, elle diminue fortement entre 0 et 4000 mètres d'altitude mais elle décroît moins entre 5000 et 20 000 mètres d'altitude. La pression minimale atteinte est de 55 hPa.

Nous allons effectuer des mesures à l'aide d'un capteur de pression absolue qui permet de couvrir cette plage, sans être toutefois trop coûteux. Il s'agit du modèle MPX4115 de Motorola. Un système de télémesure KIWI enverra les données recueillies au sol.

Le capteur fournissant une tension de sortie, dépendant de la pression à laquelle il est soumis, comprise entre 0 et 5V, on peut directement le coupler à l'émetteur KIWI. Le schéma constructeur comporte en plus des condensateurs de filtrage.

3.2 Caractéristiques du capteur

3.2.1 Caractéristiques théoriques

La page 3 de la documentation technique du MPX2115 (cf. annexe 1) comporte un graphique représentant la tension délivrée par le capteur en fonction de la pression à laquelle il est soumis. Trois courbes sont tracées. Celle du dessous représente les valeurs minimales pouvant être fournies par le capteur, les valeurs maximales sont au dessus et les valeurs moyennes au milieu.

3.2.2 Caractéristiques mesurées

L'étalonnage du capteur a été réalisé avec une cloche à vide une fois le montage réalisé, et a permis de vérifier que les valeurs de tension fournies par le capteur sont bien dans la plage indiquée par la documentation technique.

3.3 Schéma électrique

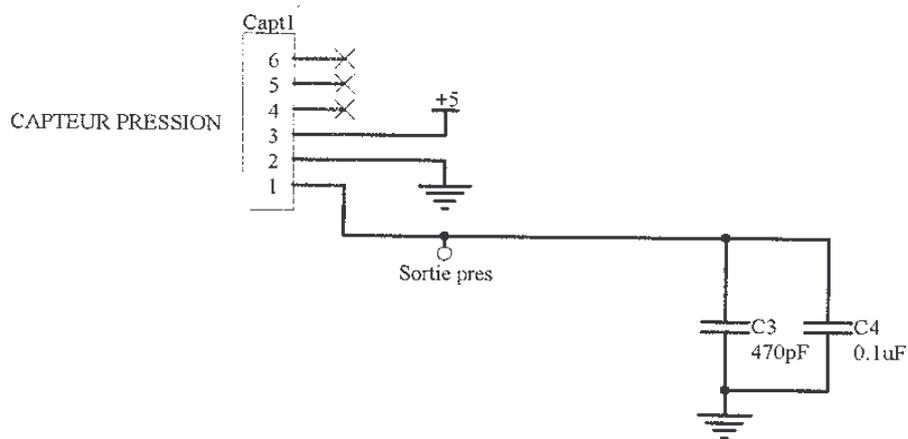


Fig. 14 : schéma électrique de la carte pression

3.4 Prédiction des mesures

Les tables d'atmosphère standard donnent une bonne idée de la pression qui devrait être mesurée au cours du temps, si l'on se base sur une vitesse ascensionnelle constante de 5m/s au cours des 13 premiers kilomètres de l'ascension.

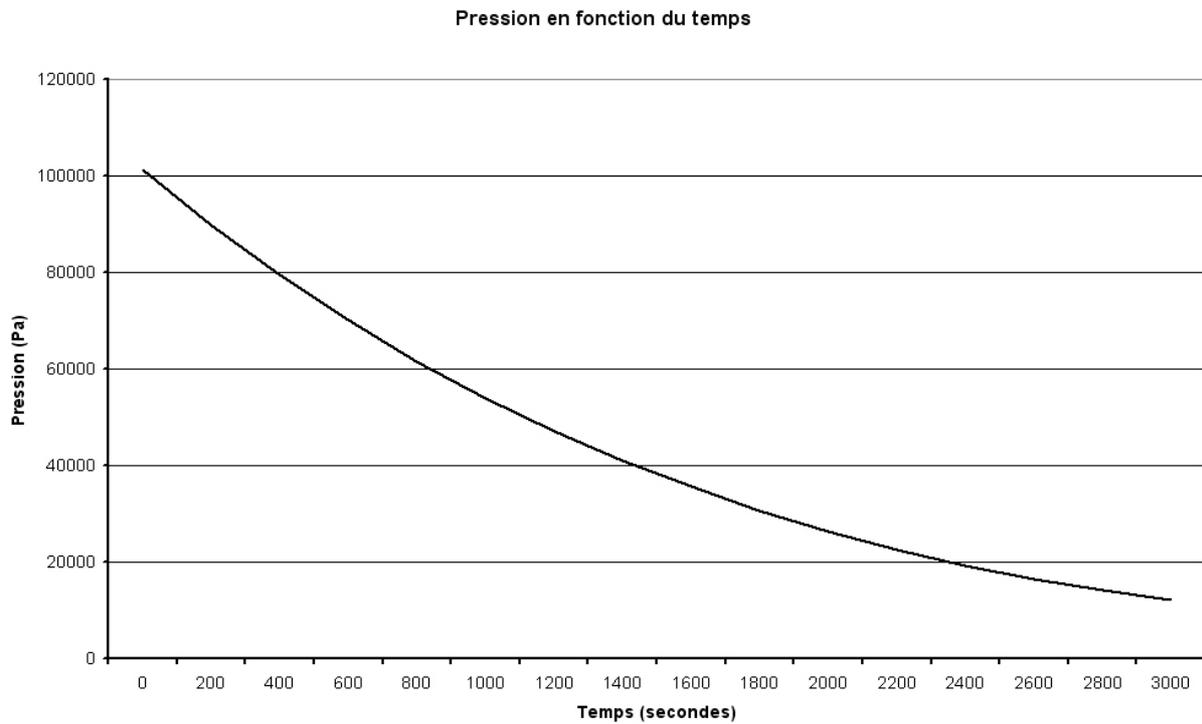


Fig. 15 : Pression en fonction du temps de vol

A l'aide de la documentation constructeur, nous avons ensuite estimé la tension théorique de sortie en fonction du temps de vol. La courbe obtenue devrait avoir une allure proche de celle retransmise par le KIWI au cours du vol.

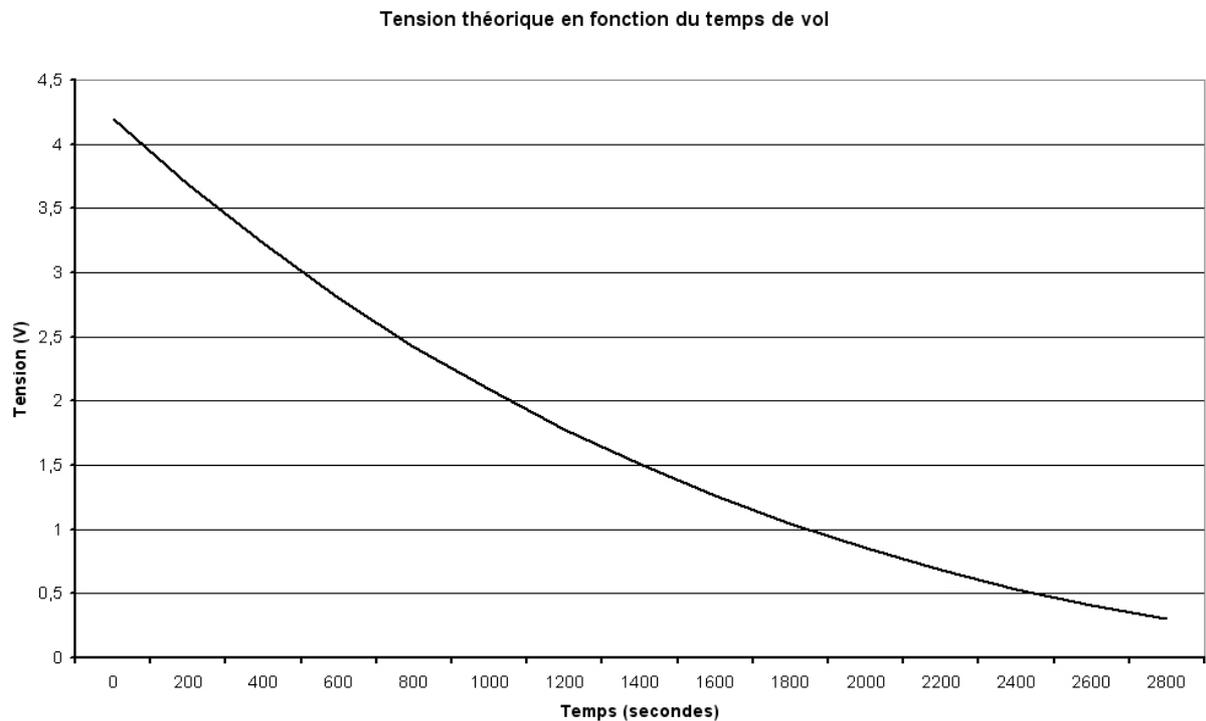


Fig. 16 : Tension théorique en fonction du temps de vol

3.5 Montage de mise au point

Le montage provisoire a été réalisé sur une marguerite, ce qui a permis de tester le capteur. Les fils le reliant à la carte ont été torsadés au moment du test.

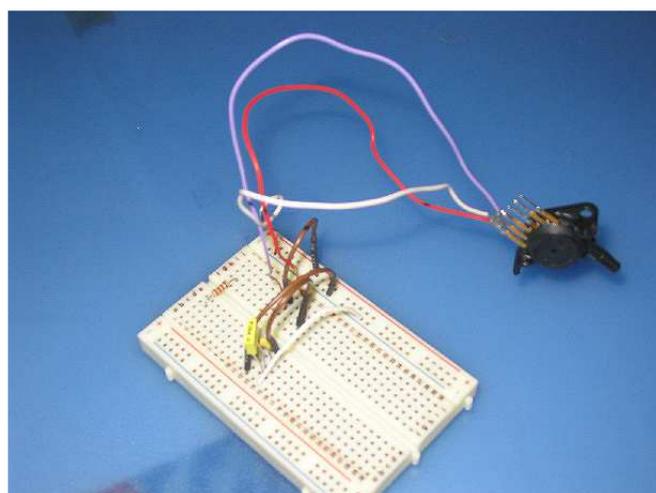


Fig. 17 : montage temporaire de la carte de pression

4. Prise de photos

4.1 Présentation de l'expérience

Nous avons cherché à prendre en photo le site de lancement du ballon, au cours des 240 premières secondes de son ascension puis de la redescente de la nacelle secondaire, à raison d'une photo toutes les 10 secondes après une temporisation d'environ 15 secondes. L'analyse des photos permettra un suivi vertical de la nacelle secondaire.

L'appareil photo choisi n'est pas un appareil photo jetable, car nous n'avons trouvé aucun modèle permettant de passer d'une photo à la suivante automatiquement. Il s'agit d'un Fujifilm Clear Shot 30, peu coûteux.

Sur ce modèle, il est impossible de commander électriquement l'appareil car l'ouverture de l'obturateur résulte d'une action mécanique sur le bouton poussoir. Il a donc fallu concevoir une commande mécanique de la prise de photos.

Le premier système réalisé était entièrement mécanique : un moteur devait faire tourner une tige qui elle-même faisait pivoter une autre tige coudée qui appuyait sur le déclencheur. Un petit ressort permettait le retour de la tige coudée.

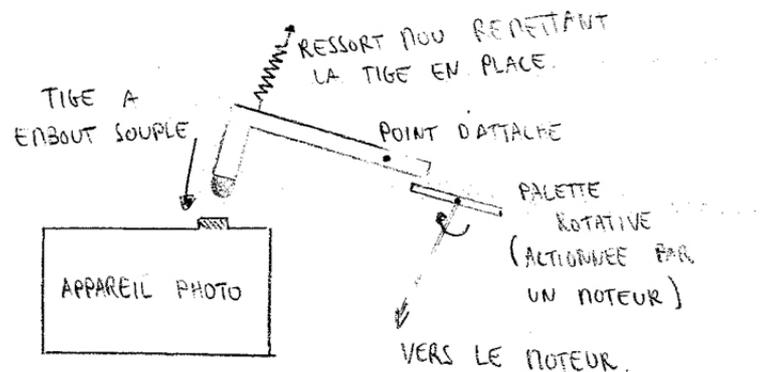


Fig. 18 : Premier système de prise de photos conçu

Le système finalement retenu, plus fiable et plus léger, repose sur l'action d'un électroaimant qui appuie sur le déclencheur. Cet électroaimant est piloté à cadence régulière par une carte électronique. Le ressort de l'appareil photo remet l'électroaimant à sa position de départ une fois la photo prise.

4.2 Caractéristiques de l'appareil photo

La documentation technique est jointe en annexe 2.

4.3 Conception de la commande de la prise de photos

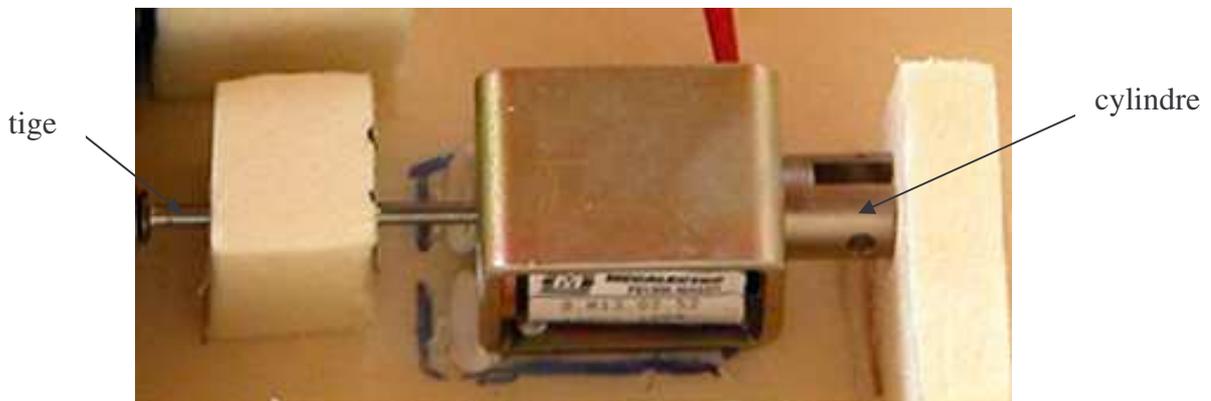


Fig. 19 : Electroaimant utilisé (fabriqué par Mecalectro)

Le montage fonctionne suivant le principe suivant. Une tige est fixée au cylindre de l'électroaimant (sur la photo). Lorsqu'il n'est pas alimenté, le cylindre est sorti et la tige ne touche pas le déclencheur de l'appareil photo. Quand on alimente l'électroaimant le cylindre rentre et la tige appuie sur le déclencheur. De nouveau non alimenté le ressort du déclencheur repousse la tige et le cylindre.

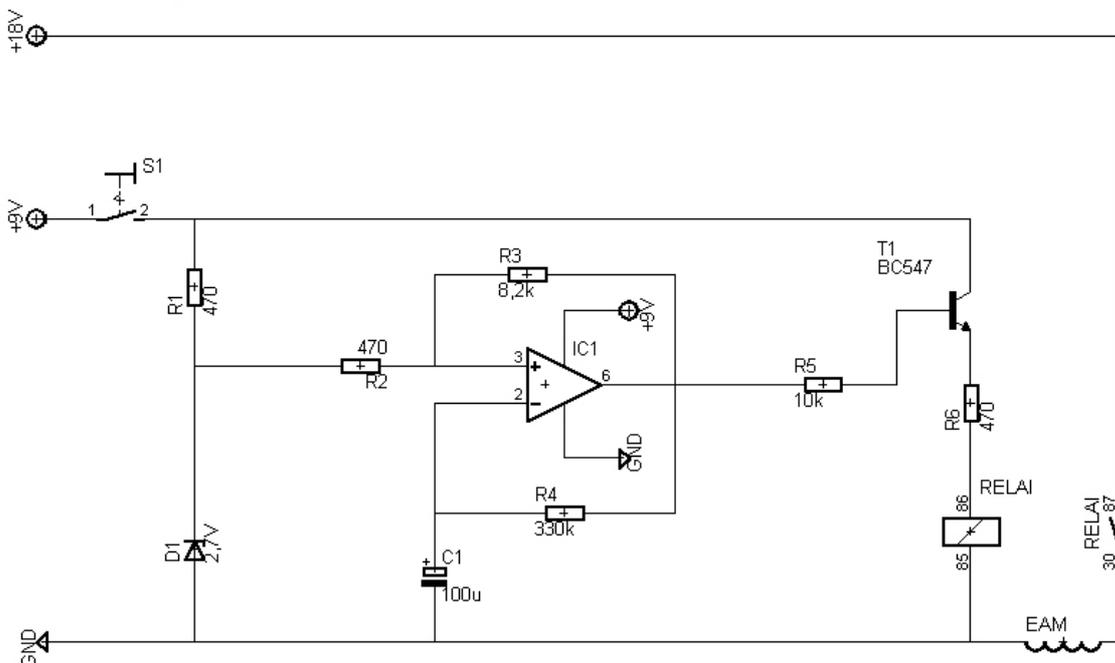


Fig. 20 : Schéma électronique du déclenchement de l'appareil photo

L'amplificateur opérationnel est ici branché en multivibrateur astable : il délivre une tension de sortie carrée valant $V_{cc} = +9V$ pendant un temps T_1 et $0V$ pendant un temps T_2 . Les temps

T_1 et T_2 sont donnés par la relation ci-dessous, où V_{ref} représente la tension aux bornes de la diode Zener. Ces formules ne sont que théoriques, le montage n'y répond en effet pas exactement.

$$T_1 = R_4 C_1 \ln\left(\frac{1 + 2 \frac{R_2 - V_{ref}}{R_3 V_{cc}}}{1 - \frac{V_{ref}}{V_{cc}}}\right)$$

$$T_2 = R_4 C_1 \ln\left(\frac{1 + 2 \frac{R_2 + V_{ref}}{R_3 V_{cc}}}{1 + \frac{V_{ref}}{V_{cc}}}\right)$$

4.4 Prévision des mesures

Le but est de prévoir à quelle altitude les photos seront prises. Les données sont les suivantes :

- l'ascension dure environ 4 minutes
- le ballon monte à une vitesse de 5 m/s
- il y a une temporisation d'environ 12 secondes
- les photos sont prises toutes les 8,5 secondes.

On en déduit donc :

- $4 \cdot 60 = 240$ s d'ascension
- $240 \cdot 5 = 1200$ m d'altitude
- $12 \cdot 5 = 60$ m d'altitude pour la premier photo
- $8,5 \cdot 5 = 42,5$ m entre chaque photo

4.5 Montage de mise au point

Le montage provisoire de la carte a été réalisé sur une marguerite, celui de la fixation de l'appareil photo sur une plaque en bois.

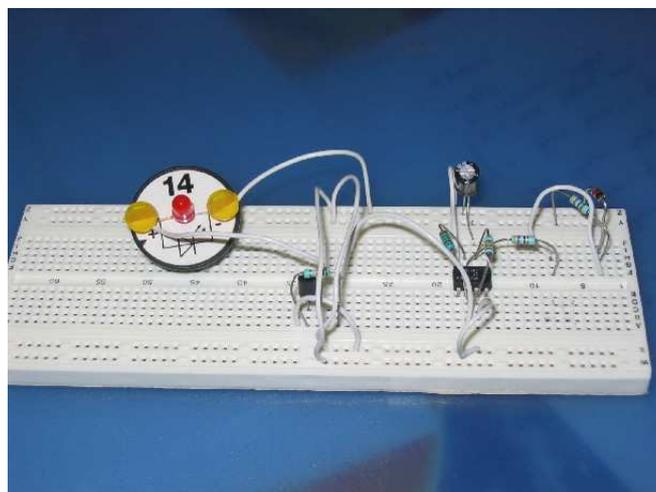


Fig. 21 : Montage provisoire de la prise de commande de la photo

4.6 Détermination de l'ouverture angulaire de l'appareil photo

- Champ angulaire théorique

L'angle de champ de l'appareil photo dépend de ses caractéristiques, à savoir distance focale, et des dimensions du film utilisé. Si l'on nomme θ l'angle cherché, l la largeur du film et f la distance focale, θ peut se calculer ainsi :

$$\theta = 2 \text{Arc tan} \left(\frac{l}{2f} \right)$$

Le film utilisé a une largeur de 36 millimètres et la distance focale de l'appareil est de 28 millimètres. On obtient donc :

$$\theta = 2 \text{Arc tan} \left(\frac{36}{2 \times 28} \right) \approx 65,5^\circ$$

- Détermination expérimentale

Pour déterminer précisément l'ouverture angulaire de notre appareil photo, nous avons réalisé des clichés test, sur lesquels figure un objet de dimensions connues, la distance entre cet objet et l'appareil étant fixée.

Sur les photos suivantes, nous connaissons ainsi toutes les dimensions : la largeur du portail et la distance (considérée comme altitude) à laquelle la photo a été prise.

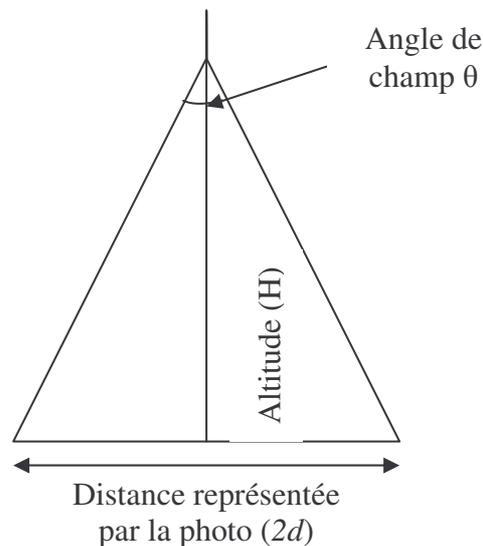


Fig. 22 : Déterminer le rapport distance/altitude

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{d}{H} \text{ donc } H = \frac{d}{\tan(\theta/2)}$$



Fig. 23 : Photo test 20

La largeur du portail est de 3,10 mètres. Sur la photo cette distance est représentée par 2 centimètres. Au total, 23 mètres sont donc représentés sur la photo. « L'altitude » est de 20 mètres. Le rapport distance/altitude est donc de 1,15.



Fig. 24 : Photo test 25

De même sur cette photo sont représentés 27 mètres. On obtient ici un rapport distance/altitude de 1,08.

En répétant cette opération sur plusieurs photos, on obtient un rapport moyen de 1,1 qui correspond à environ 60° d'ouverture angulaire, conformément à la documentation technique. Pour calculer l'altitude à partir de la photo, nous diviserons donc par 1,1 la distance photographiée.

5. Largage de la nacelle secondaire

5.1 Présentation de l'expérience

Afin de maximiser les chances de retrouver l'appareil photo intégré dans la nacelle secondaire, il a été décidé de la larguer au bout de 240 secondes (soit 4 min) de vol, ce qui correspond approximativement à une altitude de vol de 1200 mètres : en effet, la vitesse ascensionnelle du ballon au décollage est d'environ 5m/s.

A cette hauteur, le ballon étant encore visible, on pourra suivre visuellement la descente de la nacelle secondaire. Les recherches pour la retrouver seront donc guidées et les chances de récupérer l'appareil photo seront bien plus importantes qu'après un vol d'environ 3 heures jusqu'à 30 Km d'altitude, et dont on ne connaît pas la direction.

5.2 Réalisation de l'expérience

5.2.1 Choix du système de largage

Après avoir considéré des systèmes mécaniques très rudimentaires, et donc très incertains, il a été décidé d'utiliser une minuterie électronique déclenchant un électroaimant pour dégager une bague solidaire de la nacelle secondaire, et ainsi la larguer.

Cette solution permettra par ailleurs d'économiser du poids, contrairement à un système exclusivement mécanique, or la contrainte de poids est très importante dans ce projet.

5.2.2 Conception du système de largage

Entre la nacelle principale et la nacelle secondaire se trouve le parachute de cette dernière, ce qui veut donc dire que le système de largage doit être situé dans la première nacelle, et il doit fonctionner avec une charge de 1 kg, poids maximal autorisé pour la deuxième nacelle.

L'électroaimant doit être maintenu en place lors de l'ascension, pour ne pas provoquer un largage prématuré, ni détériorer d'autres montages. Cela veut dire qu'il faut prévoir un support dans la nacelle, réalisé dans une matière qui ne s'aimante pas. L'utilisation d'un support en fer, par exemple, pourrait perturber l'électroaimant et entraîner un dysfonctionnement. Nous avons choisi d'utiliser un support usiné dans un bloc de nylon.

L'électroaimant choisi est un électroaimant simple effet, utilisé en traction, sa tige servant à retenir un anneau d'amarrage auquel sera reliée la nacelle largable.

Pour assurer une puissance conséquente au niveau de l'électroaimant, il sera alimenté par une tension supérieure à sa tension nominale, 12V. Il est capable de fonctionner jusqu'à un seuil de 50V, mais sera alimenté par du 18V, en raison des contraintes de masse embarquée.

La minuterie est un circuit électronique qui utilise la combinaison d'un filtre RC et d'un amplificateur opérationnel pour temporiser la mise sous tension de l'électroaimant.

Le schéma ci-dessous a été réalisé sous le logiciel de CAO électronique Eagle.

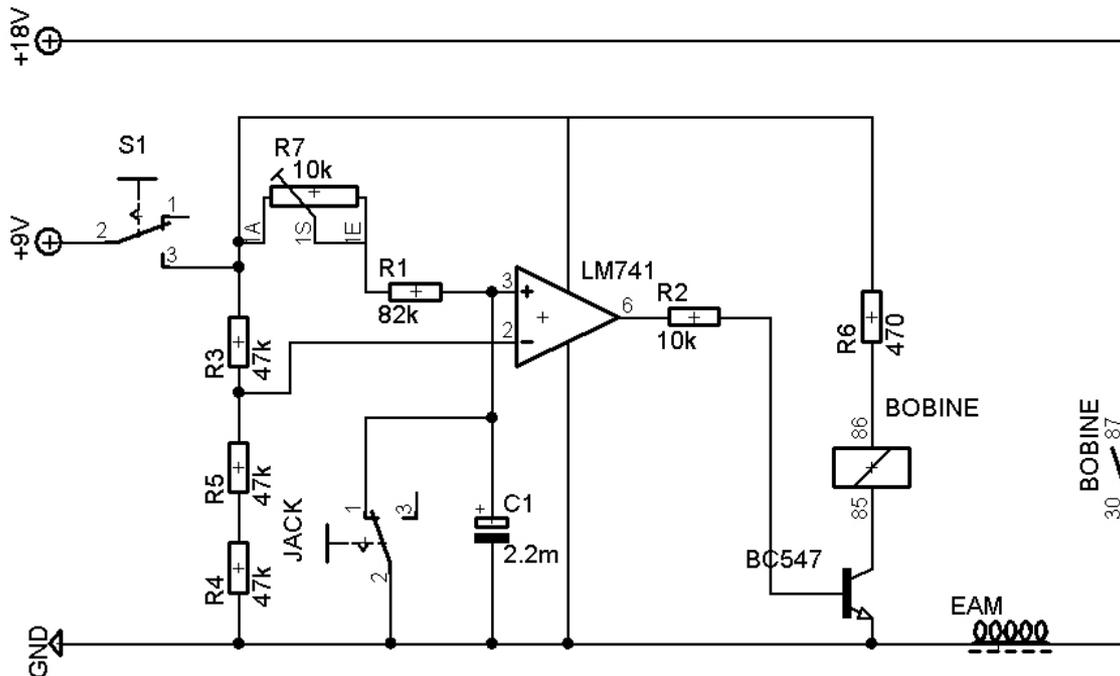


Fig. 25 : Schéma électrique de l'expérience largage de nacelle

La carte électronique sera réalisée sur une plaquette de montage pré percée et fixée sur une des parois de la nacelle principale.

5.3 Montage de mise au point

Le montage provisoire de la carte a été réalisé sur une marguerite.

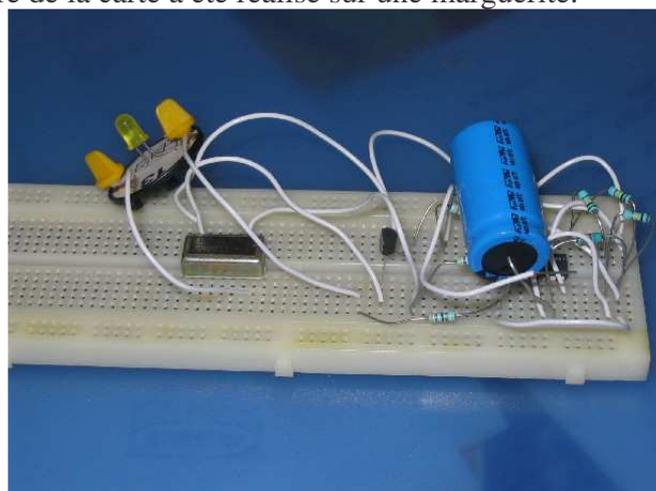


Fig. 26 : Montage provisoire de la carte de largage (électroaimant remplacé par la LED)

6. Intégration électrique

Responsable : Georges Goetz

L'intégration électrique a une importance capitale dans ce projet.

Il s'agit de s'assurer que toutes les cartes sont alimentées avec une tension adaptée, et de fournir une masse commune à tous les montages, qui sera aussi la masse de l'émetteur.

Trois alimentations seront présentes dans les deux nacelles au moment du lâcher.

La première est située dans la nacelle inférieure. Constituée de deux piles 9V, elle alimente en 18V l'électroaimant et la carte électrique le déclanchant, s'assurant ainsi de leur bon fonctionnement.

La deuxième alimentation est située dans la nacelle principale. Constituée de deux piles 9V, elle sert à alimenter l'électroaimant qui largue la nacelle secondaire. Il a été choisi de la mettre à part car une fois la nacelle larguée, elle n'est plus d'aucune utilité.

La troisième alimentation comporte deux piles 9V et 3 piles 4,5V. Elle est reliée à une carte électronique comportant deux régulateurs de tension de façon à obtenir du -5V, 0V, +5V, +9V et +13,5V, nécessaires à l'ensemble des autres expériences. Cette carte alimentation permet de ne pas avoir à prévoir une alimentation séparée pour chaque expérience et ainsi d'économiser du poids au niveau du nombre de piles embarquées. Elle fournit de plus la masse commune présentée plus haut.

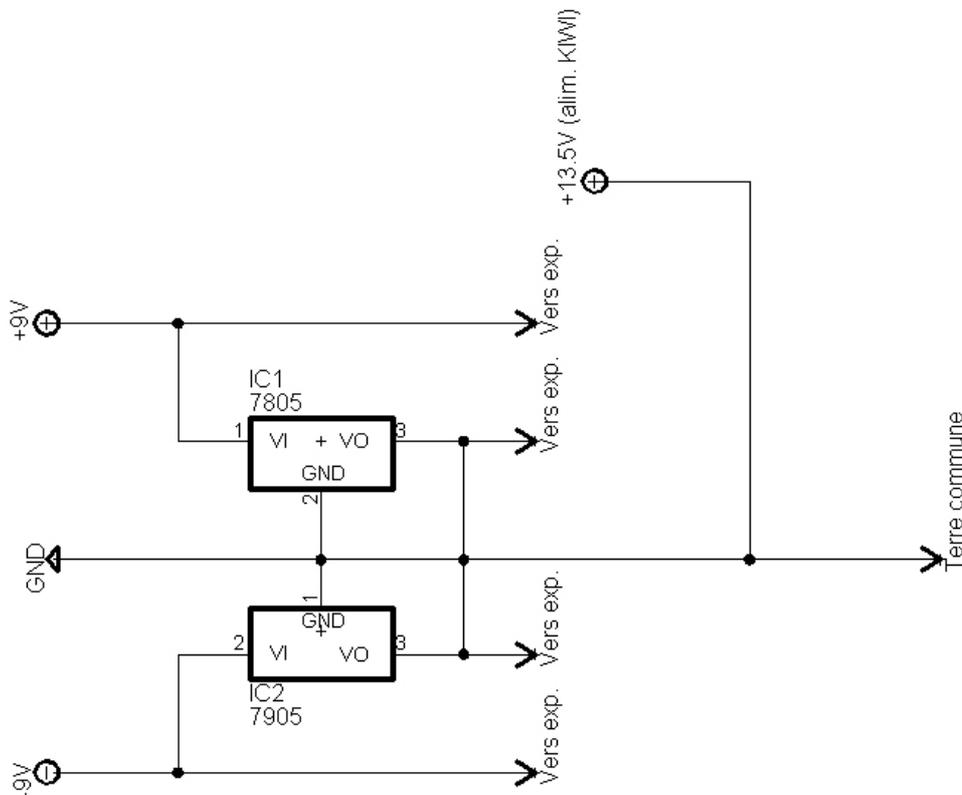


Fig. 27 : Carte d'alimentation

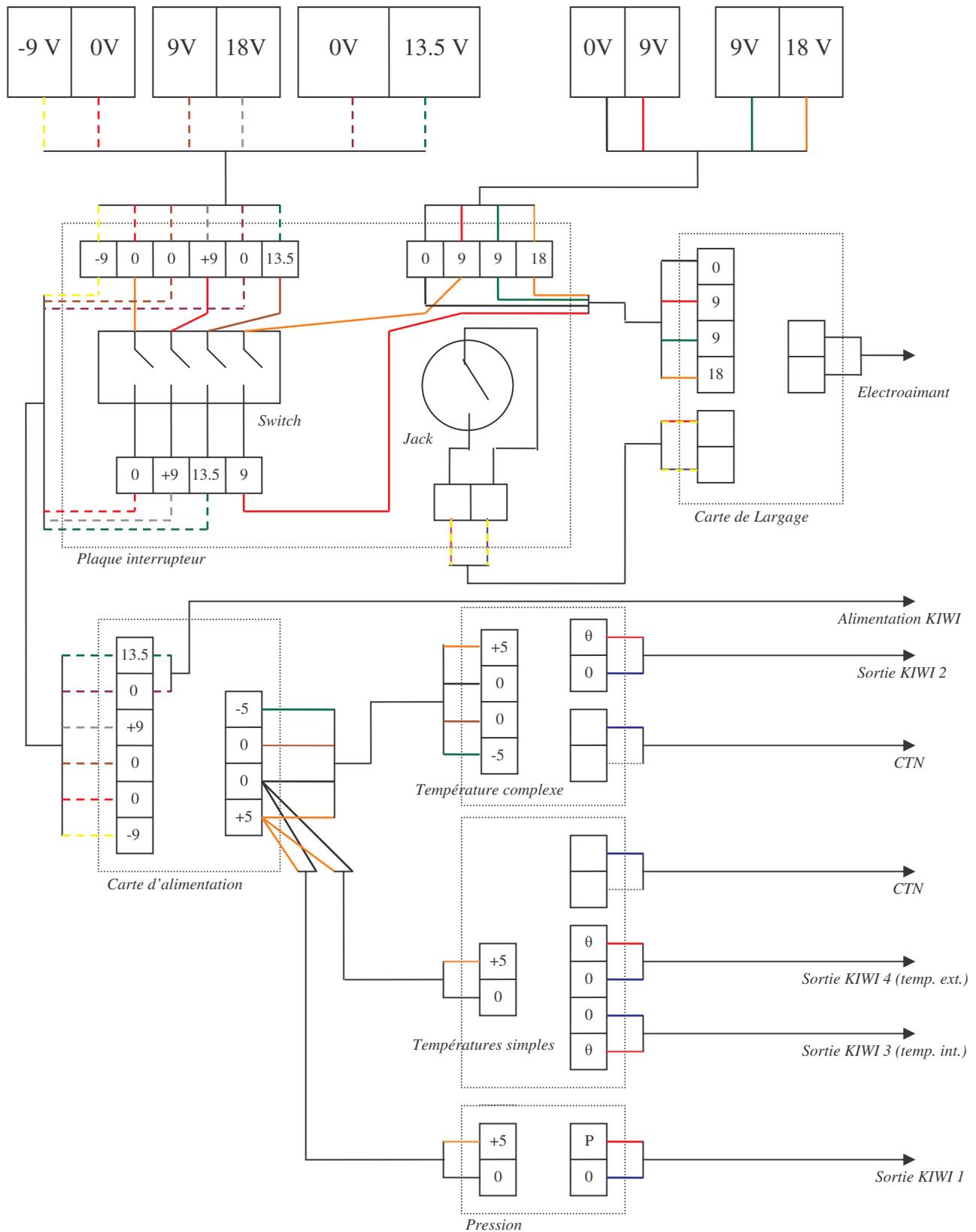


Fig. 28 : Schéma de câblage de la nacelle principale

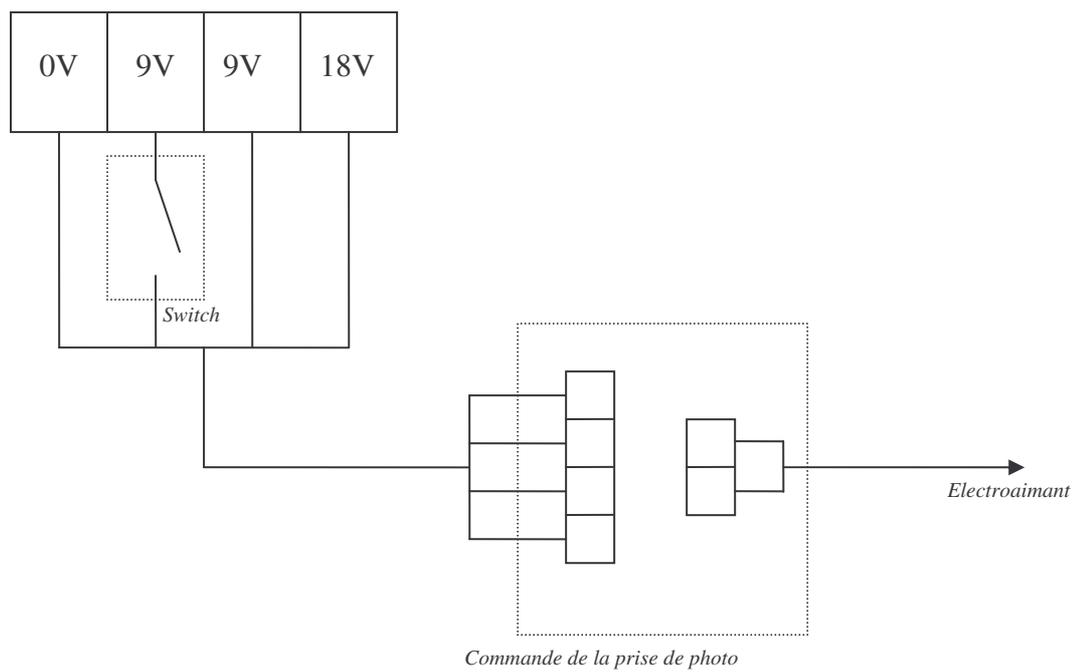


Fig. 29 : Schéma de câblage de la nacelle secondaire

7. Intégration mécanique

Responsable : Stephan Rossig

Les nacelles sont de forme parallélépipédique. Du point de vue de la conception, c'est une forme très simple à réaliser et qui n'a pas de contraintes particulières, mis à part qu'il faut placer son centre de gravité de façon à ce que la nacelle reste sur un plan horizontal.

Les nacelles sont construites dans des plaques de polystyrène extrudé de 3cm d'épaisseur (léger et supportant les très basses pressions rencontrées). La nacelle supérieure est enveloppée d'une couverture de survie, de même que la nacelle inférieure, mais pas sur sa totalité, afin de ne pas gêner la prise de photos.

Dimensions et agencement des nacelles

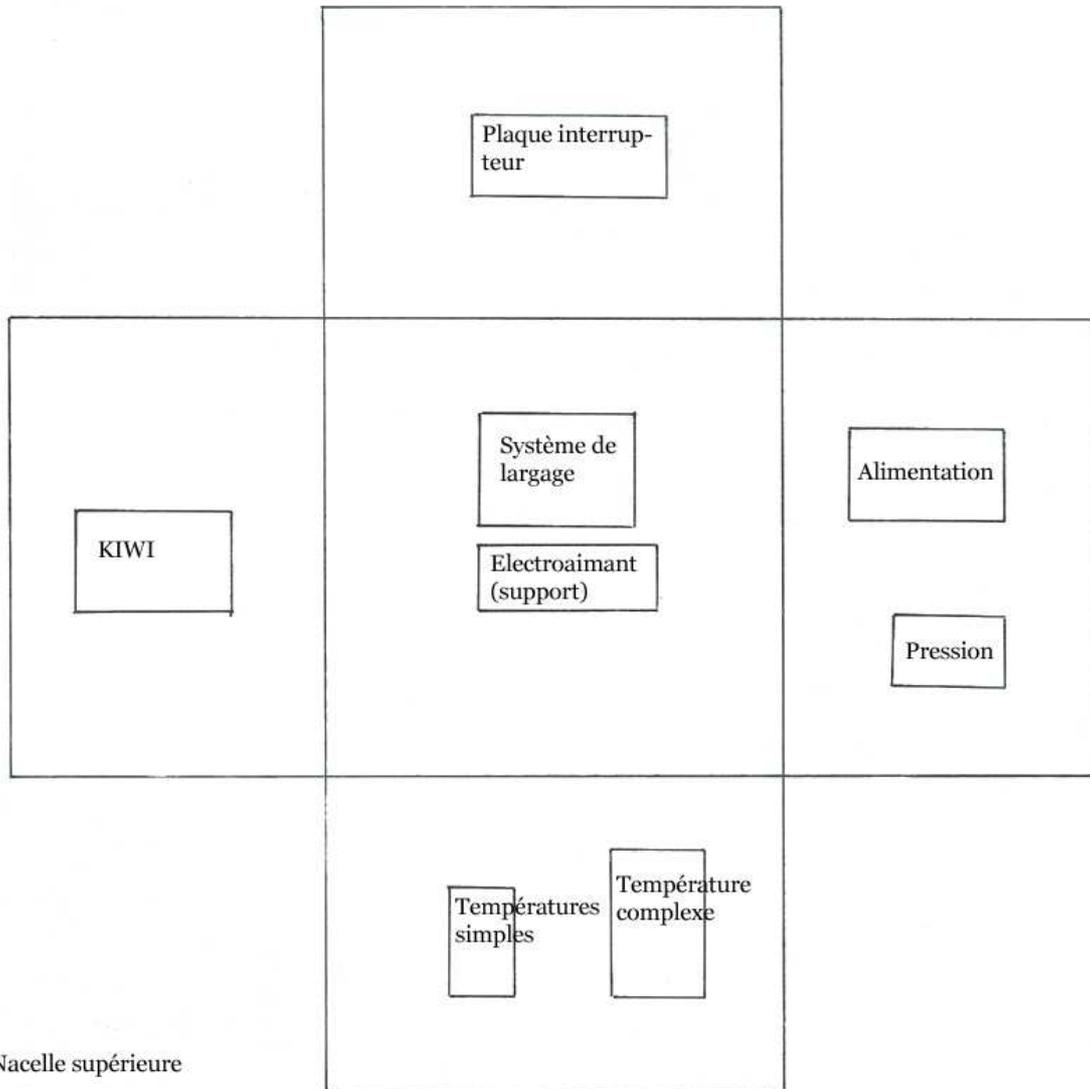
Nacelle supérieure :

La nacelle supérieure contient une cloison supplémentaire pour l'émetteur KIWI, qui sera aussi enveloppé dans du papier aluminium de sorte qu'il ne perturbe pas les montages électroniques (principe de la cage de Faraday). Il sera de plus isolé sur une face à part.

Les piles et la carte d'alimentation seront placées au centre de la cloison inférieure pour être le plus proche possible de tous les composants nécessitant une alimentation électrique.

Une autre face sera dédiée à une plaquette « switch », contenant l'interrupteur de mise sous tension, et le jack déclenchant la minuterie du largage.

Le système mécanique de largage sera situé au centre de la face inférieure, c'est en effet la position la plus stable pour ce dernier.



Nacelle supérieure

Fig. 30 : Plan de la nacelle supérieure

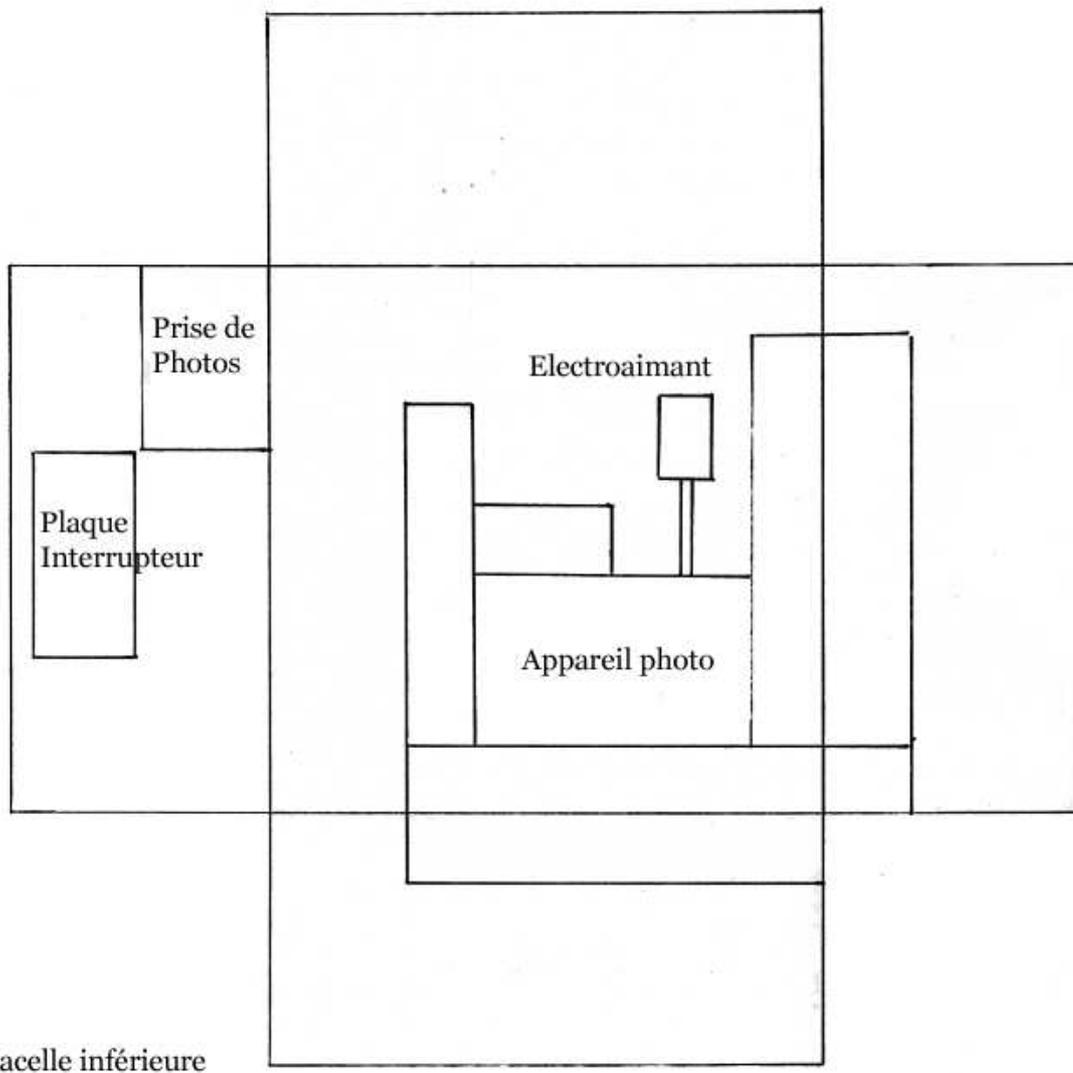


Fig. 31 : Plan de la nacelle supérieure

8. Revue de conception

La revue de conception du ballon a eu lieu le dimanche 26 septembre à 10 heures. L'ensemble du groupe était présent, et les expériences ont été fixées de manière définitive, avec une définition précise de leur objectif scientifique.

Quelques problèmes de conception ont été découverts.

Tout d'abord, le condensateur de la carte « largage » a une décharge très lente : s'il était nécessaire le jour du lâcher de mettre la nacelle sous tension, puis de couper l'alimentation pour relancer les expériences quelques temps après, ce condensateur n'aurait alors pas le temps de se décharger. Il en résulterait un temps de largage faussé.

Il faut donc ajouter une mise à la masse de ce composant. Ce rôle est rempli par un jack que l'on enlèvera au dernier moment. Il est branché de telle manière à ce qu'il court-circuite le condensateur. Une fois le jack désolidarisé de son support, le condensateur commence à se charger. En le rebranchant, le condensateur est de nouveau mis à la masse. Tout risque de démarrer la minuterie trop tôt est donc supprimé.

Il est aussi apparu que l'émetteur KIWI pourrait polluer les montages, provoquant des dysfonctionnements et gênant ainsi le bon déroulement de l'expérience. Il faut donc vérifier que les montages électroniques ne sont pas perturbés par la présence de l'émetteur.

Après test, nous avons constaté que ce n'est pas le cas pour les expériences de température. Il en va de même pour la prise de photos et le largage. Par contre nous n'avons pas pu le vérifier pour le capteur de pression qui n'a pas fonctionné le jour de la revue (il manquait une alimentation en +5V stabilisé).

De plus, toutes les voies du KIWI n'étant pas utilisées, nous avons cherché à rajouter une sortie « largage », qui enverrait un signal une fois l'électroaimant déclenché. Ne sachant pas où prendre la tension de référence pour cette expérience, l'idée n'a pas été retenue.

IV. Qualification des nacelles

1. Version définitive des nacelles

Les nacelles dans leur forme définitive sont deux parallélépipèdes rectangles de polystyrène extrudé de 3 centimètres d'épaisseur, recouvertes par une couverture de survie. Les cartes ont été fixées sur des cubes de polystyrène, eux-mêmes collés aux parois de la nacelle. Elles sont donc séparées de la paroi de 1 centimètre en moyenne, deux pour le KIWI.

Les piles ont été mises en places et solidarisiées à la nacelle avec du ruban adhésif double face, afin de s'assurer qu'elles ne bougent pas durant le vol. Le système de largage a été fixé d'une manière similaire, des vis ayant été rajoutées pour d'avantage de solidité.

Un cadre en polystyrène destiné à maintenir l'appareil photo en place a été construit dans la nacelle inférieure, ainsi qu'un tube de coulissage pour la tige destinée à exercer une action mécanique sur le bouton de prise de vue de l'appareil.

La nacelle supérieure mesure 31 cm de largeur par 31 cm de profondeur et 23 de hauteur, la nacelle inférieure 30 par 30 par 17.

Les mesures de température ont été de nouveau testées avec un glaçon, la mesure de pression avec une seringue : toutes ont réagi.

L'expérience de largage a été testée quatre fois, et a fonctionnée de façon nominale. La seconde nacelle a été larguée au bout d'un temps égal à 3 minutes 45 secondes, à plus ou moins 5 secondes.

La prise de photos a aussi fonctionné. Il faut en revanche faire attention à utiliser des piles neuves, l'électroaimant nécessitant un courant important.

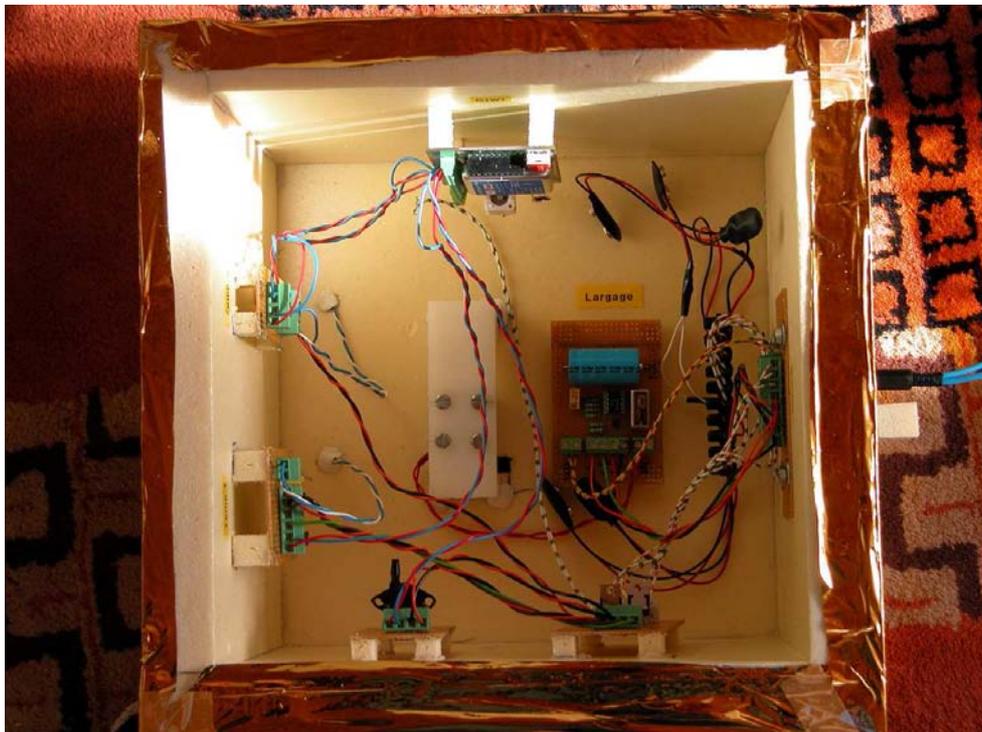


Fig. 32 : La nacelle supérieure.

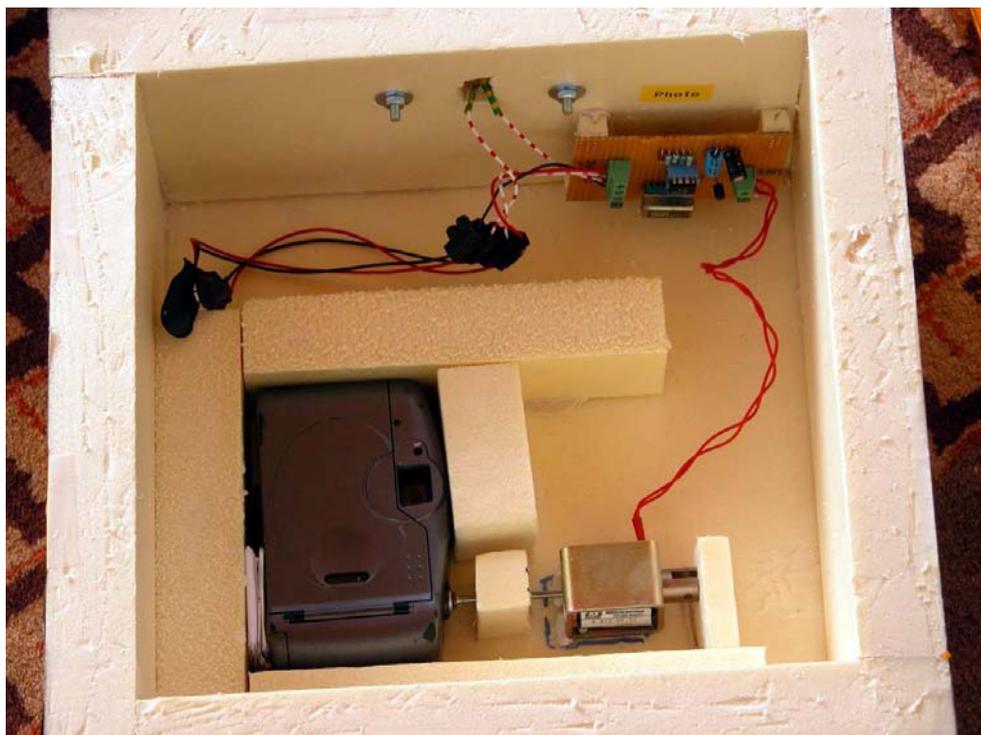


Fig. 33 : La nacelle inférieure

2. Revue de qualification

La revue de qualification a eu lieu le dimanche 14 novembre à 10heures.

L'ensemble du groupe était alors présent. Le bon fonctionnement de chaque expérience a été vérifié et les tâches à effectuer pour le jour du lâcher ont été définies.

Au cours de la visite, nous avons testé les montages de largage, prise de photo, température complexe et pression, pendant que le KIWI émettait, afin de s'assurer que ce dernier ne pollue pas, ou n'empêche pas un circuit électrique de remplir son rôle.

Seule la mesure de température simple a posé un problème : quand le KIWI n'est pas alimenté, elle ne fonctionne pas. Cette mesure repose sur un pont diviseur, et alimente l'émetteur quand ce dernier n'est pas sous tension, ce qui la fausse. Une fois le problème diagnostiqué, il a suffi de refaire un test avec l'émetteur et le montage sous tension, pour constater que l'expérience température réagissait aussi.

D'un point de vue mécanique, les nacelles ont une masse conforme au cahier des charges (1.8 Kg et 960g respectivement, la masse limite étant 2 Kg et 1 Kg). Les piles devront être fixées aux parois, à l'aide de ruban adhésif par exemple, pour qu'elles ne bougent pas durant le vol. Il ne doit en effet y avoir aucun élément susceptible de se détacher dans la nacelle, qui pourrait abîmer un montage et empêcher une expérience de fonctionner.

Pour le lâcher, il nous faudra réaliser une chronologie, servant de « check-list », préparer le parachute principal, et calculer la valeur théorique du champ angulaire de l'appareil photo à partir de la documentation constructeur pour vérifier qu'elle est conforme aux valeurs mesurées (cf. partie Conception).

V. Lâcher du ballon

1. Chronologie

Aire de lâcher	Heure	Station de télémessure
Arrivée.	13h 00	Arrivée
Mise en place du matériel (bâche, bouteille, antenne, jumelles) <i>Antoine, Stephan, Georges</i>	13h 05	Branchement de la station <i>Guillaume, Pierre</i> Mise sous tension <i>Pierre</i>
Pesée de la nacelle <i>Georges</i> Constitution de la chaîne de vol <i>Antoine</i>	13h 20	Calibration de la baie <i>Pierre</i>
Constitution de la chaîne de vol <i>Antoine</i> Mise en place du détendeur <i>Guillaume</i> Câblage du jack <i>Georges</i>	13h 30	Essai de l'ordinateur <i>Pierre</i>
Mise sous tension de la nacelle supérieure <i>Antoine</i>	13h 40	Essai de réception <i>Pierre</i>
Gonflage et lâcher d'un ballon témoin <i>Antoine</i>	13h 50	Lancement du logiciel de réception <i>Guillaume</i>
Décision d'effectuer le lâcher <i>Georges</i> Téléphoner à l'aviation civile <i>Aérotechnicien</i>	13h 55	Décision d'effectuer le lâcher <i>Georges</i>
Dépliage du ballon Début du gonflage <i>Guillaume</i>	14h 00	Réglage de la télémessure <i>Pierre, Antoine</i>
Rappel à haute voix du rôle de chacun au moment du lâcher <i>Georges</i> Noter le sens du vent <i>Guillaume</i> Faire écarter le public <i>Guillaume</i>	14h 05	Relevé des conditions expérimentales <i>Pierre</i> Si besoin, téléphoner à l'Aviation Civile <i>Pierre</i>
Relevé de température, pression <i>Antoine</i>	14h 10	
Fin de gonflage <i>Guillaume</i>	14h 20	Vérification du niveau de carburant du groupe électrogène (si utilisé)

Fermeture du ballon <i>Guillaume</i> Accrochage de la chaîne de vol <i>Guillaume</i>	14h 20 <i>(suite)</i>	<i>Pierre</i>
Prise en charge par chaque équipier d'un élément de la chaîne de vol <i>Antoine, Guillaume</i>	14h 25	Mise en marche de la télémessure <i>Pierre</i>
Direction aire de lâcher <i>Antoine, Guillaume</i>	14h 27	Autorisation lâcher <i>Georges</i>
Mise sous tension nacelle inférieure <i>Pierre</i> Débrancher le Jack <i>Pierre</i> Lâcher	14h 00	Départ chronomètre <i>Georges</i> Relevé de l'heure <i>Georges</i>
	14h 30	Si nécessaire, retoucher les réglages <i>Antoine</i>
	15h 00	Si nécessaire, repointer l'antenne <i>Antoine</i>

2. Le jour du lâcher

Quelques photos du lâcher du ballon...





VI. Exploitation des mesures

1. Mesures de température simples

Le KIWI a transmis deux heures de télémétrie pour les expériences de température simple. Les valeurs fournies sont très éloignées des valeurs prévues.

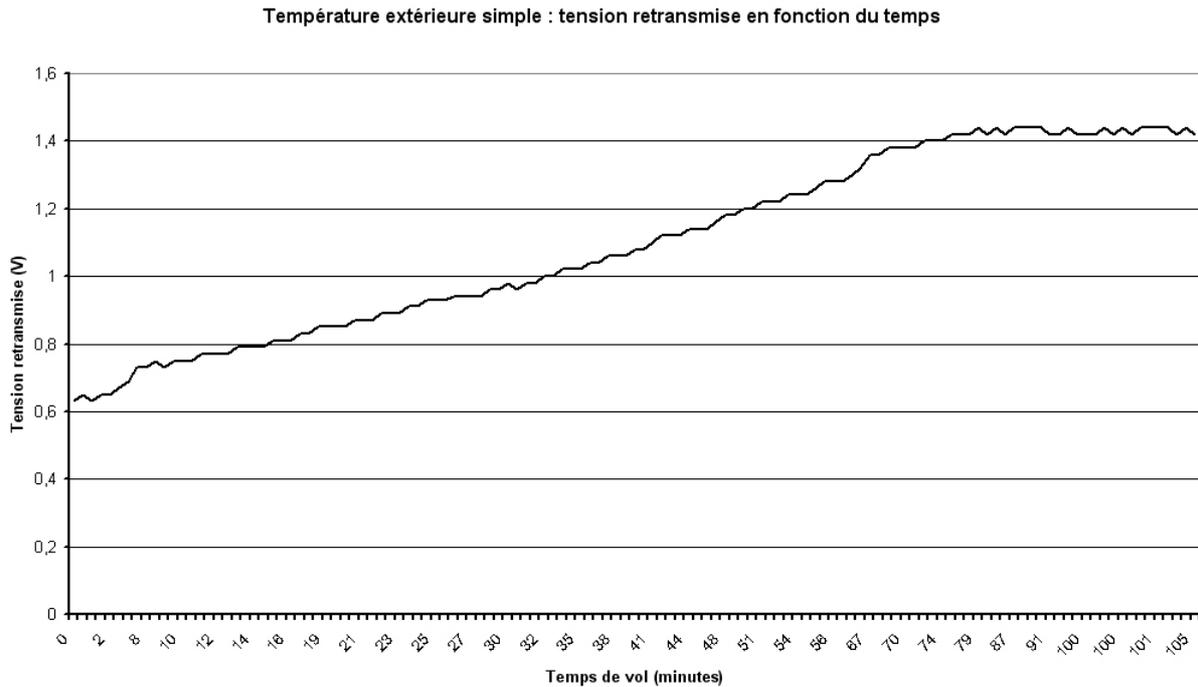


Fig. 34 : Tension retransmise par le KIWI en fonction du temps de vol, mesure extérieure

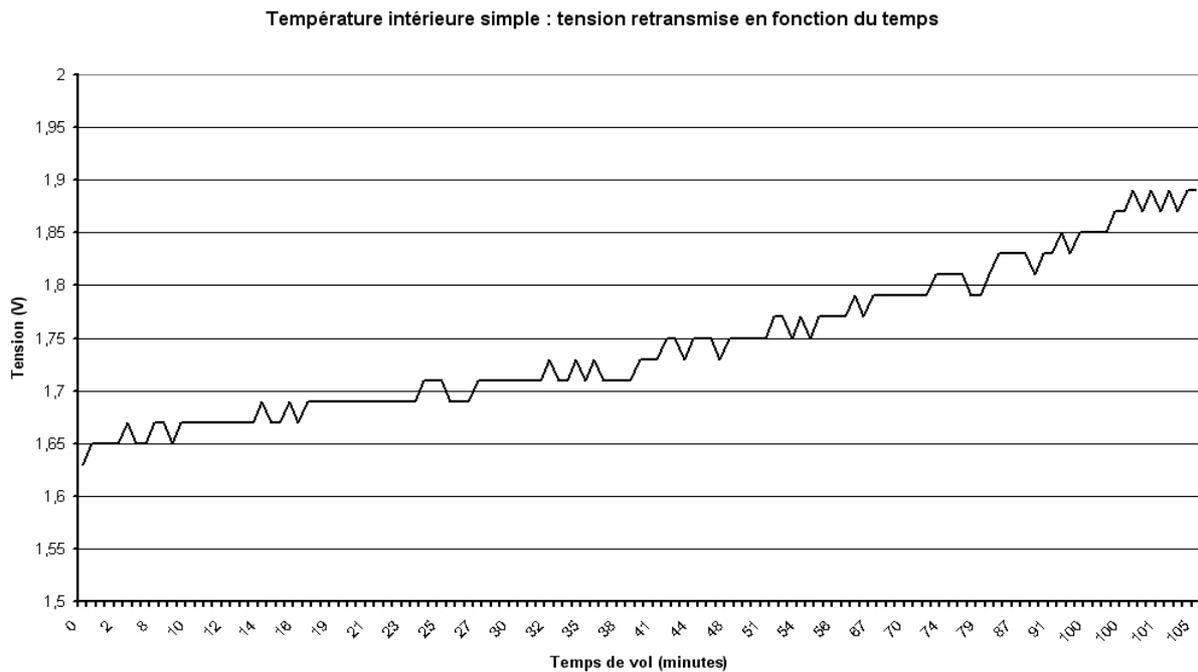


Fig. 35 : Tension retransmise par le KIWI en fonction du temps, mesure intérieure

Les deux expériences montrent que la température a diminué à l'intérieur et à l'extérieur de la nacelle.

Des conclusions peuvent être tirées de la mesure de température extérieure. Les valeurs de tension retransmises correspondent à des valeurs théoriques de température comprises entre $+15^{\circ}\text{C}$ et -5°C environ. En approximant la courbe tension théorique en fonction de la température par une droite sur cet intervalle, on peut retrouver les valeurs approximatives des températures retransmises par le KIWI au cours du vol. On obtient alors le graphe suivant.

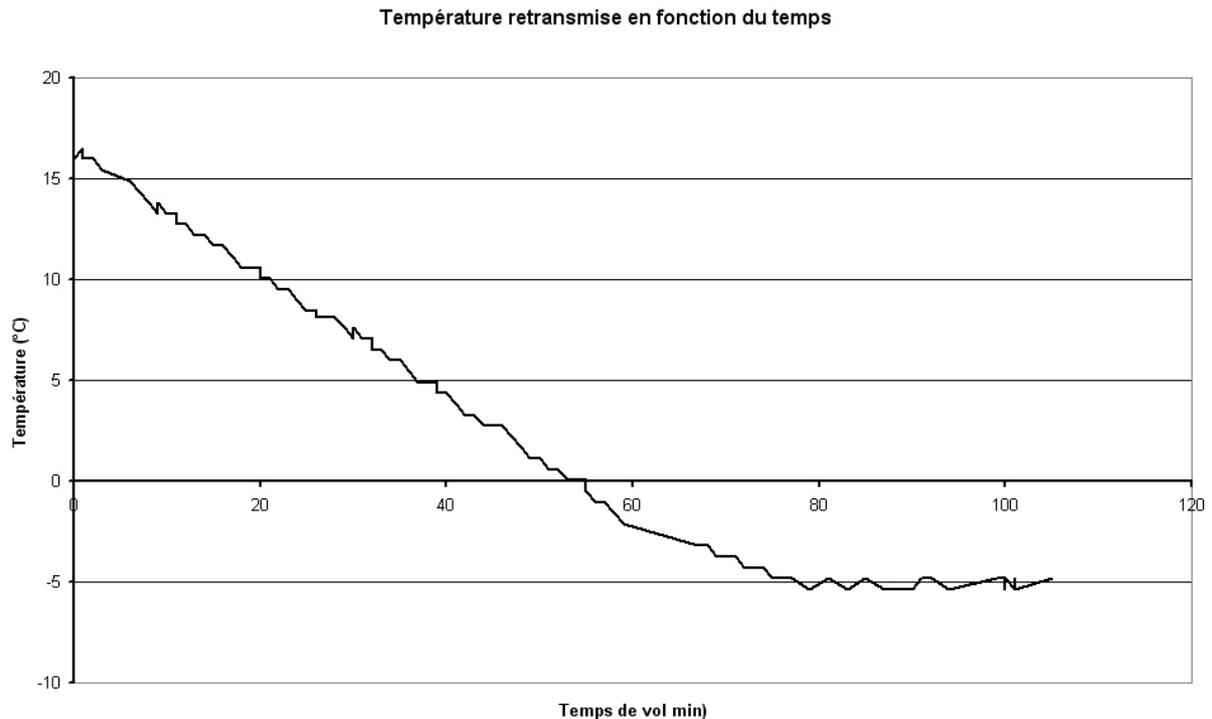


Fig. 36 : Température retransmise par le KIWI en fonction du temps de vol

La température décroît de manière linéaire au cours du temps, comme sur les tables d'atmosphère standard, ce qui indique une vitesse d'ascension constante du ballon au cours du vol.

Le palier observable au bout de 75 minutes de vol peut être expliqué de deux manières différentes. Tout d'abord, il se pourrait que le ballon se soit stabilisé alors que la température extérieure était de -5°C , soit une altitude de 4 Km environ. Le ballon se serait alors élevé à une vitesse inférieure à $50 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Or au vu de la vitesse ascensionnelle initiale du ballon, observée au moment du lâcher, cette valeur n'est pas possible.

Le palier doit donc être dû à la stabilisation de la température à -56°C dans la stratosphère (au-delà de 10 Km d'altitude), à une altitude de 11000 mètres environ, ce qui correspondrait à une vitesse ascensionnelle de $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, constante au cours des 75 premières minutes de vol.

Compte tenu de l'allure correcte de la courbe, on peut expliquer les incohérences des valeurs numériques par un mauvais étalonnage des capteur : ces derniers ont réagi, mais pas conformément aux prévisions. Ceci montre l'importance qu'une phase de vérification précise des montages doit avoir dans un projet de ce type.

2. Mesure de température extérieure complexe

L'émetteur KIWI a transmis des valeurs de tension pendant deux heures pour l'expérience de température complexe.

A première vue, ces valeurs sont très bruitées et inexploitables, car très différentes des mesures prévues. On ne peut donc pas se servir des graphes construits pendant la partie conception du projet.

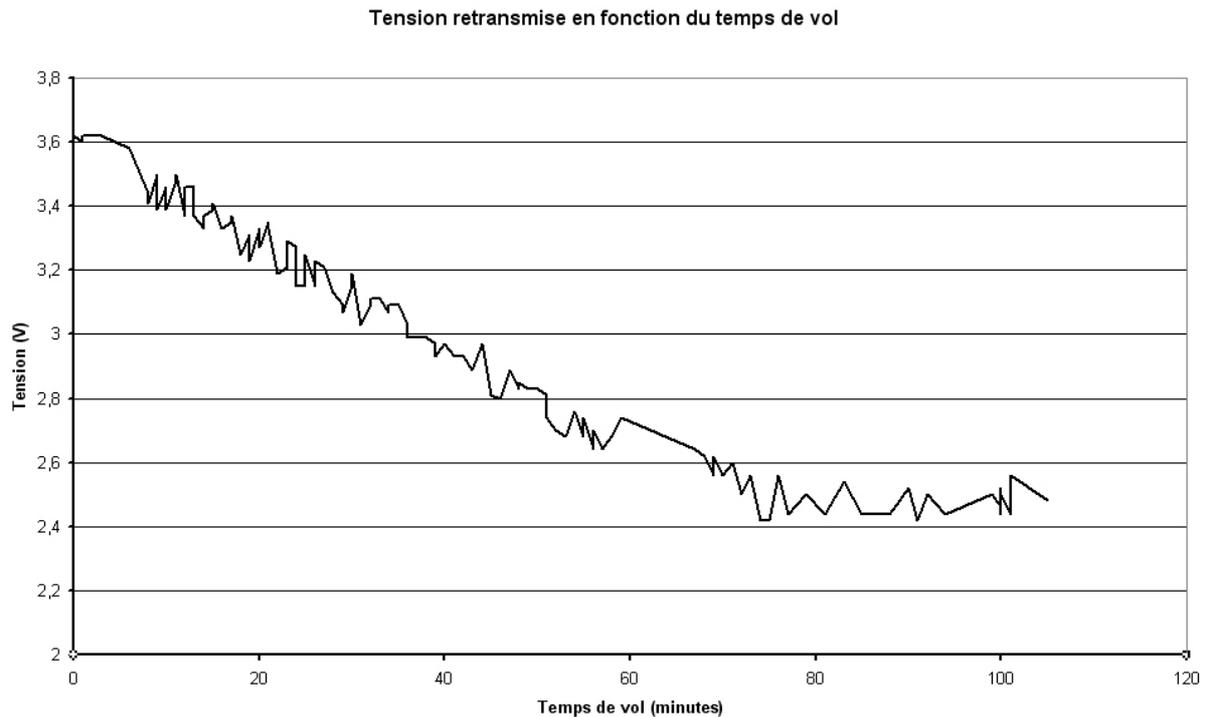


Fig. 37 : Tension retransmise par le KIWI en fonction du temps de vol

Cependant, on observe clairement un palier survenant au bout de 75 minutes de vol, qui apparaît aussi pour la mesure de température extérieure simple. Or la température se stabilise à -56°C à une altitude de 11000 mètres.

La variation de la tension et le palier prouvent que la CTN a réagi. On peut aussi déduire du graphe la vitesse ascensionnelle du ballon : ce dernier ayant parcouru 11 Km en 75 minutes, il s'est élevé à une vitesse moyenne de $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Il devait le faire à une vitesse de 4 à $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ceci montre un problème de remplissage de l'enveloppe au moment du lâcher.

La gamme de tension retransmise correspond à la tension théorique pour une température comprise entre environ 15 et 25°C . La courbe tension théorique en fonction de la température peut alors être approximée par une droite d'équation :

$$u = 0.15T + 0.25$$

Connaissant cette relation il est possible de retrouver la température transmise par le montage au cours du vol ; on a en effet :

$$T = \frac{u - 0.25}{0.15}$$

Le graphe suivant est alors construit.

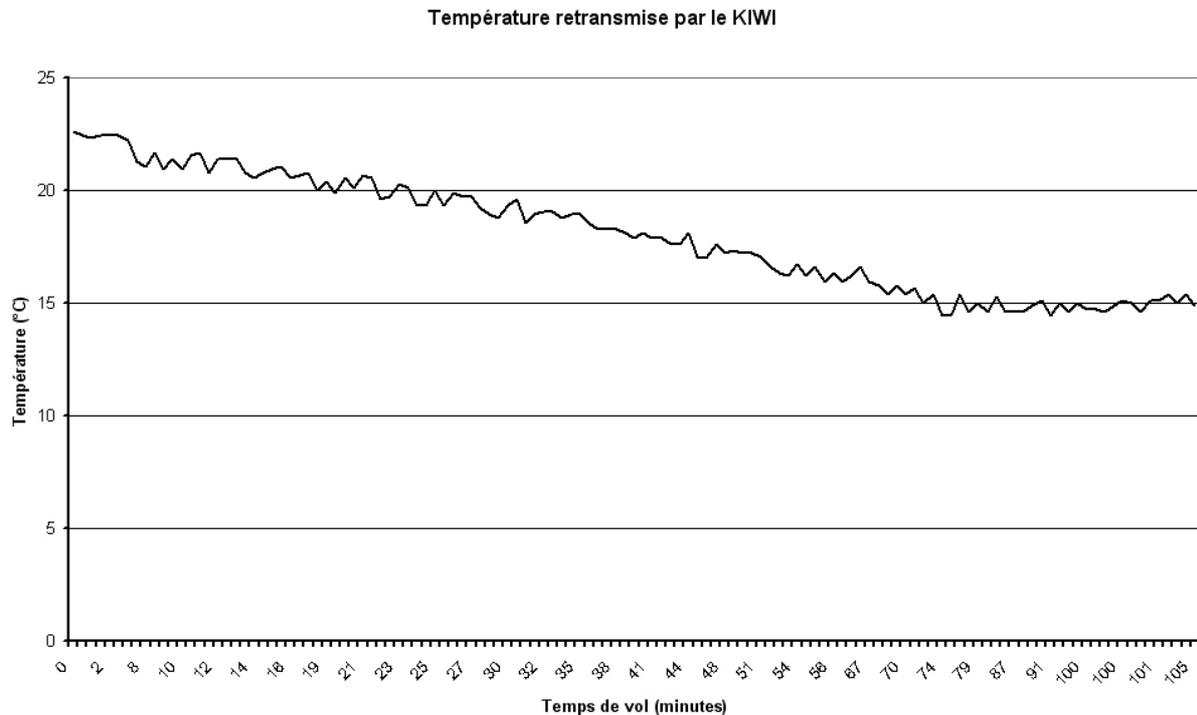


Fig. 38 : Température en fonction du temps de vol

Ces données ne sont pas du tout conformes aux tables d'atmosphère standard. En se basant sur une température au sol de 15°C, cette grandeur physique aurait dû décroître jusqu'à -56°C, présentant alors un ΔT de -67°C.

Ici, le ΔT est de -8°C.

De la température en fonction du temps de vol, on peut passer à la température en fonction de l'altitude en supposant la vitesse ascensionnelle constante égale à 2.7 m.s⁻¹.

Pour vérifier si la température en fonction de l'altitude a bien décru de façon linéaire, conformément aux données de l'atmosphère standard, les valeurs obtenues précédemment ont été multipliées par 70/8, avant de retrancher 185 afin de revenir dans des plages de températures réalistes.

Sur un même graphe ont été tracées les courbes de température théorique, température retransmise, et température retransmise multipliée par le coefficient précédent.

On obtient alors la figure ci-après, où la série bleue représente la température théorique, la série rouge la température transmise, et la série noire la température retransmise affectée de la transformation précédente.

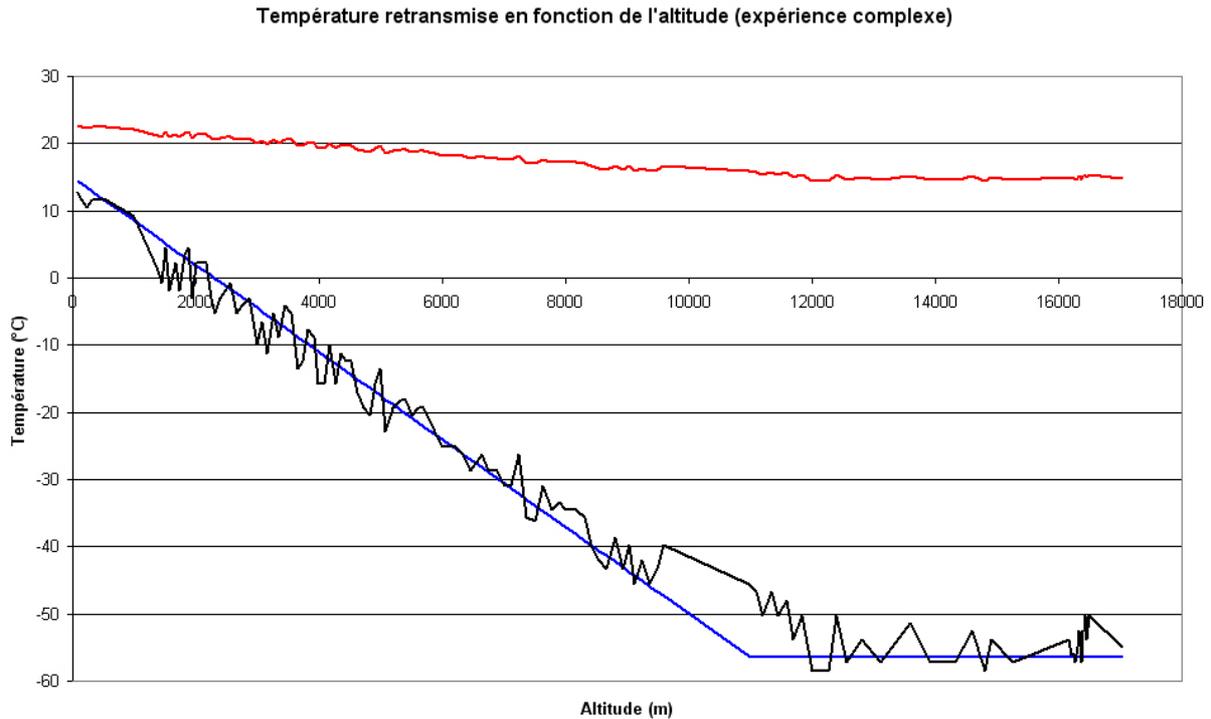


Fig. 39 : Températures retransmise et théorique en fonction de l'altitude

Les deux courbes (théorique et retransmise) sont alors très proches l'une de l'autre, si l'on excepte les parasites importants dus à l'émission du KIWI.

On sait que la température décroît de manière linéaire quand l'altitude augmente. La série noire faisant de même, cela signifie que la supposition d'une vitesse ascensionnelle constante égale à $2,7 \text{ m.s}^{-1}$, qui a permis de calculer l'altitude à partir du temps de vol pour la construction de ce graphe, est correcte.

Cela signifie aussi que malgré les différences très importantes observées avec les valeurs numériques théoriques, l'expérience de mesure de température complexe a fonctionné.

Quelle peut donc être l'origine de l'écart entre théorie et pratique ?

La première possibilité envisageable est un mauvais étalonnage du capteur. Il avait en effet été réalisé de manière très approximative, avec un glaçon dont la température avait été supposée égale à 0°C , et la température ambiante. Les deux valeurs étaient alors conformes aux données théoriques, mais deux points isolés ne suffisent pas à vérifier l'exactitude d'une courbe à l'allure exponentielle.

Une autre possibilité serait un mauvais fonctionnement du montage lui-même, ce qui est peu probable.

Au bilan de cette expérience, il apparaît nécessaire de consacrer une phase importante à l'étalonnage des différents capteurs, afin d'être sûr des mesures prévues.

3. Mesure de pression

Deux heures de télémessure ont été obtenues pour l'expérience de mesure de pression. La tension retransmise au cours du temps par le KIWI est représentée ci-dessous.

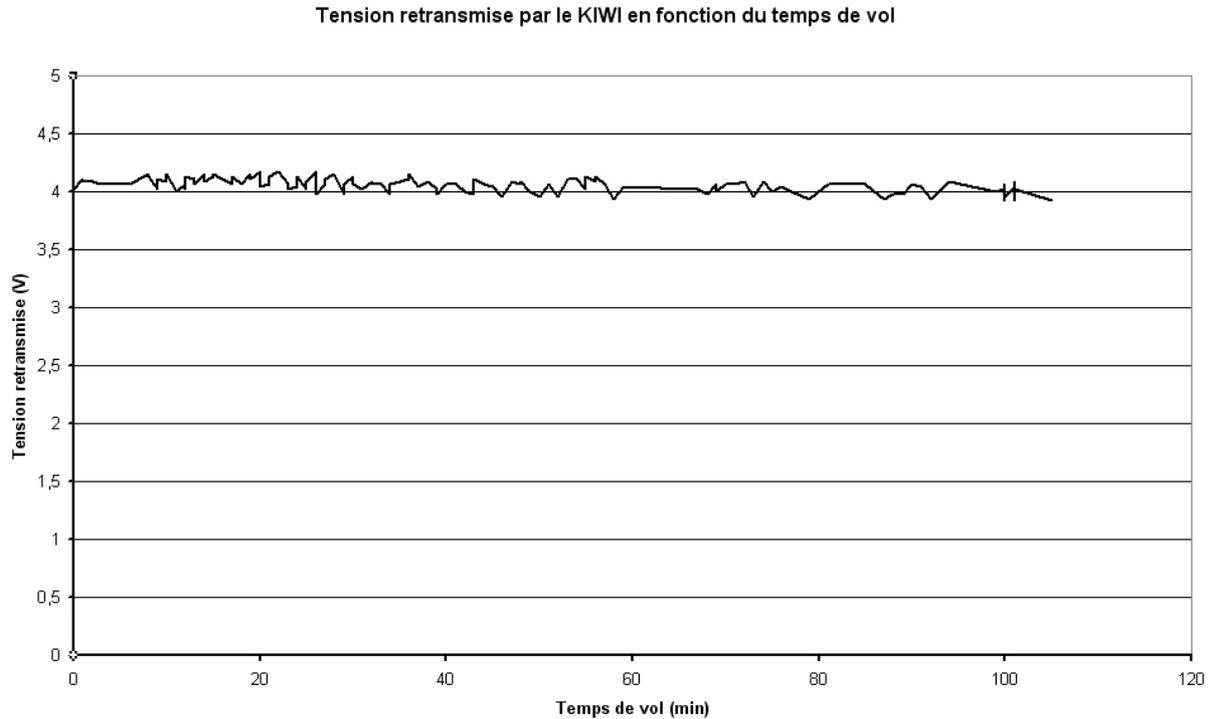


Fig. 40 : tension retransmise par le KIWI pour l'expérience de pression

On voit donc que le capteur n'a pas réagi. Quelques hypothèses peuvent être émises quant à ce dysfonctionnement.

Il pourrait s'agir tout d'abord d'un problème d'alimentation. Mais le capteur ayant retransmis une tension non nulle, ce n'a pas été le cas. Il est donc probable qu'un court circuit ait empêché l'expérience de se dérouler correctement.

4. Prise de photos

Pour réaliser l'exploitation des photos prises par le ballon, deux moyens sont envisagés. Tout d'abord, on peut utiliser la vitesse ascensionnelle du ballon trouvée précédemment grâce aux autres mesures, afin de trouver le temps au bout duquel chaque photo a été prise (en déduisant l'altitude de l'appareil à partir du cliché), puis on compare ce temps avec la valeur théorique. On peut aussi partir du principe que les photos ont été prises au bon moment et on calcule ainsi la vitesse du ballon au cours l'expérience prise de photo.

Mais tout d'abord, quelques unes des photos prises au début du vol.



Fig. 41 : Photo 0



Fig. 42 : Photo 9



Fig. 43 : Photo 18

5.1 La vitesse du ballon est supposée constante.

- Photo 0

On constate que la longueur de la photo représente 50 mètres (distance établie à l'aide de la largeur du terrain de football). En divisant cette longueur par le rapport déterminé au cours de la conception de l'expérience (soit 1,1) on obtient l'altitude de la nacelle : 45,5 mètres. La vitesse du ballon étant de 2,7 m/s, la photo aurait été prise au bout de 16,9 secondes. Si le montage électrique avait fonctionné correctement, la cette durée aurait dû être de 12s. Ce temps ou la vitesse est donc incorrect.

- Photo 9

Grâce à l'étude d'une carte topographique de la région, on a pu établir que sur cette photo sont représentés 430 mètres en longueur. Cela correspond à une altitude de 390 mètres. Cette photo aurait donc été prise au bout de 145 secondes. Les photos sont prises toutes les 8,5 secondes ; celle-ci aurait donc du être prise au bout de 93 secondes.

- Photo 18

Par la même méthode, on trouve la longueur de la photo représente 1225 mètres. L'altitude est donc de 1115 mètres et la photo aurait été prise au bout de 410 secondes au lieu des 170 secondes théoriques.

Nous constatons qu'il y a de fortes différences entre les valeurs trouvées et les valeurs théoriques. On peut donc penser que la vitesse d'ascension du ballon n'était pas constante au cours du vol.

Nous allons maintenant partir du principe que les photos ont été prises au temps prévu.

5.2 Les photos sont supposées avoir été prises au bon moment.

- Photo 0

La temporisation était de 12 secondes et le ballon est monté de 45,5 mètres, sa vitesse était donc au début de 3,8 mètres par seconde.

- Photo 9

La temporisation initiale dure 12 secondes, les photos sont prises toutes les 8.5 secondes donc la photo 9 a été prise au bout de 88,5 secondes. L'altitude calculée du ballon est de 390 mètres. Cette distance a été parcourue en 88,5 secondes ce qui correspond à une vitesse de 4,4 mètres par seconde.

- Photo 18

Cette photo aurait été prise au bout de 165 secondes. L'altitude calculée est de 1115 mètres, la vitesse du ballon serait donc de 6,7 mètres par seconde.

On observe des incohérences dans les résultats. Elles peuvent être dues à des erreurs de mesure lors du calcul des distances représentées sur les photos et donc lors des calculs d'altitudes, le ballon ne s'étant pas élevé à 6,7 mètres par secondes. Il ne contenait en effet pas assez d'hélium. Une autre explication possible est un temps entre chaque photo plus long que le temps théorique, qui permettrait d'obtenir des vitesses ascensionnelles plus faibles, et donc plus proches de la réalité.

5. Largage de la nacelle secondaire

L'expérience de largage de la nacelle secondaire devait permettre à cette dernière de se détacher de la nacelle principale au bout de quelques minutes de vol, alors qu'elle était encore en vue du site de lâcher. Elle aurait ainsi été retrouvée facilement, avec les photos prises au début du vol.

Au bout de 10 minutes, la nacelle n'avait toujours pas été libérée, le montage n'avait donc pas fonctionné.

Il n'a été possible de comprendre pourquoi qu'après avoir récupéré les deux nacelles. Au bout de plusieurs heures de vol, elles étaient toujours solidement attachées...

Au moment d'effectuer le lâcher, un incident était survenu : « quelque chose » s'était détaché dans la nacelle principale. Nous pensions alors qu'il s'agissait de l'émetteur KIWI uniquement, ce dernier bougeant dans la nacelle. Sans rouvrir cette dernière qui avait été scellée quelques instants auparavant, nous avons fixé son antenne à l'extérieur afin qu'il ne se déplace pas.

En ouvrant la nacelle après l'avoir récupérée, nous nous sommes aperçus qu'il s'agissait aussi du bloc de 3 piles 4,5V alimentant l'émetteur. Le scotch double face les collant à la nacelle n'avait pas résisté, et elles s'étaient libérées, sectionnant le fil d'alimentation du montage de largage.

Il était donc normal qu'il ne fonctionne pas.

Cet incident, sans conséquence car nous avons eu la chance de récupérer les deux nacelles, montre quelle importance il faut apporter à la partie mécanique de la réalisation du projet, ainsi que l'utilité de tests de résistance, que nous n'avions pas pensé à réaliser.

6. Revue d'exploitation

La revue d'exploitation a eu lieu le Dimanche 9 Janvier à 10 heures. L'équipe était présente, mis à part Stephan, retenu à Agen.

Cette revue a été l'occasion de faire un bilan du travail effectué, des impressions de chacun sur le projet.

Des difficultés en optique pour déterminer l'ouverture angulaire de l'appareil photo, ainsi qu'en électronique au niveau de la compréhension du montage déclenchant la prise de cliché ont été évoquées par Pierre.

Antoine et Guillaume ont considéré ne pas être en charge des parties les plus difficiles. Pour ce dernier, le lien avec les cours d'électroniques ont été particulièrement appréciés.

La découverte de beaucoup de notions en électronique, ainsi que des difficultés à bien gérer un groupe est ce que Georges retient du projet.

La démarche « projet » adoptée a paru naturelle à chacun, même si certains ont regretté qu'elle les mène à travailler de manière trop individuelle.

Globalement, le projet a plu, quelques regrets subsistant, comme celui de ne pas avoir été assez attentifs à la partie mécanique, ce qui a conduit à l'échec de l'expérience largage, ou encore celui de ne pas avoir étalonné suffisamment rigoureusement les capteurs.

Le groupe tient à remercier tout particulièrement Christophe Magnière, qui l'a suivi et encadré bénévolement tout au long de ce projet, et qui a fait preuve d'une grande disponibilité et gentillesse durant cette année.

Nous devons beaucoup à M. Patrick Camboulives, qui a retrouvé et soigneusement gardé le ballon, nous permettant de le récupérer en très bon état.

Le groupe tient aussi à remercier l'AJSEP, association de bénévoles pour la promotion des activités aérospatiales auprès des jeunes, ainsi que Planète Sciences qui a financé ce projet à hauteur de 150€.

VII. Bilan du projet.

Concernant le problème initial de la recherche de la trajectoire verticale du ballon, les différentes expériences de mesure de température extérieure indiquent une vitesse ascensionnelle du ballon de 2,7 mètres par secondes en moyenne au cours du vol. L'expérience de prise de photos montrerait que cette vitesse était plus importante au début du vol, puis a rapidement décru, aucune trace de ce départ rapide n'étant visible au niveau de la température.

Il est dommage que ces informations n'aient pas pu être vérifiées à l'aide de la mesure de pression, qui aurait pu permettre de trancher de manière définitive quant à la trajectoire verticale du ballon au cours de ce vol.

De façon plus globale, beaucoup d'autres conclusions peuvent être tirées de ce projet.

Il aura permis l'apprentissage d'une démarche de type projet industriel, avec ses phases de définition, conception, réalisation et exploitation. Cette découverte a sans doute été la plus importante, faisant de Grumly une expérience très enrichissante.

Nous retiendrons que dans un projet ayant une conclusion concrète, il ne faut pas négliger les phases de test, c'est-à-dire d'étalonnage et de dimensionnement mécanique, qui peuvent éviter nombre de désagréments lors de l'essai du produit final. Ceci est particulièrement vrai à notre niveau pour un ballon-sonde, qui ne volera qu'une fois.

VIII. Bibliographie

Sites Internet :

- <http://www.planete-sciences.org/>
- <http://www.ajsep.com/>
- <http://www.snecma-propulsion-solide.com/>
- http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/atmos/us_standard.html
- http://www.cnes.fr/html/98_97_2464_2538_2565_2569_2571_.php
- <http://www.digitaldutch.com/atmoscalc/>
- <http://www.conrad.fr>
- <http://www.radiospares.fr/>
- http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPX4115&nodeId=01126990368716
- <http://www.vishay.com/docs/29048/23226405.pdf>

Livre :

- *Electronique, Amplificateurs et applications*, G. Maral, J.P.R. Arches, M. Bousquet, polycopié ENSAE

Matériel informatique utilisé :

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Adobe Photoshop 7.0
- Eagle Layout Editor

Annexe 1

Documentations techniques

Appareil photo – Documentation technique

Fujifilm Clear shot 30

Objectif :

Objectif Fujinon 28 mm f/5,6.

Viseur :

Type galilé inversé.

Mise au point :

Focus fixe, netteté de 1,3 m à l'infini.

Obturbateur :

Obturbateur mécanique 1/100 de seconde.

Sensibilité :

100, 200 ou 400 iso.

Flash :

Flash automatique.

Alimentation :

2 piles alcalines AA / LR6.

Dimensions (L*H*P) :

144 mm * 68 mm * 36 mm.

Masse :

135 g sans piles.

Le passage d'une photo à une autre est automatique, ainsi que le rembobinage.

Annexe 2

Tables d'atmosphère standard

Altitude (m)	Pression (Pa)	Pression (hPa)	Température (K)	Température (°C)
0	101325	1013,25	288,15	15
1000	89874	898,74	281,65	8,5
2000	79495	794,95	275,15	2
3000	70108	701,08	268,65	-4,5
4000	61640	616,4	262,15	-11
5000	54019	540,19	255,65	-17,5
6000	47181	471,81	249,15	-24
7000	41060	410,6	242,65	-30,5
8000	35599	355,99	236,15	-37
9000	30742	307,42	229,65	-43,5
10000	26436	264,36	223,15	-50
11000	22632	226,32	216,65	-56,5
12000	19330	193,3	216,65	-56,5
13000	16510	165,1	216,65	-56,5
14000	14101	141,01	216,65	-56,5
15000	12044	120,44	216,65	-56,5
16000	10287	102,87	216,65	-56,5
17000	8786	87,86	216,65	-56,5
18000	7504	75,04	216,65	-56,5
19000	6410	64,1	216,65	-56,5
20000	5474	54,74	216,65	-56,5
21000	4677	46,77	217,65	-55,5
22000	3999	39,99	218,65	-54,5
23000	3422	34,22	219,65	-53,5
24000	2930	29,3	220,65	-52,5
25000	2511	25,11	221,65	-51,5
26000	2153	21,53	222,65	-50,5
27000	1847	18,47	223,65	-49,5
28000	1586	15,86	224,65	-48,5
29000	1327	13,27	225,65	-47,5
30000	1172	11,72	226,65	-46,5