

A large yellow balloon is suspended in the sky, with a small white and red flag attached to its neck. Below the balloon, a diamond-shaped object with a black and white pattern hangs from a string. At the bottom of the string is a small yellow and black basket. The background is a cloudy sky with some trees and buildings visible at the bottom.

Arts

Pit Ballon 1 Angers 2003

Introduction : cadre de l'expérience

<u>A principe du ballon :</u>	3
<u>B Les différentes contraintes :</u>	4
<u>C Cahier des Charges du Ballon :</u>	5

Un milieu à explorer

<u>A Mesure de Température :</u>	6
1°) Les objectifs de l'expérience :.....	6
2°) Choix du capteur :.....	6
3°) Capteurs LM135H :.....	7
4°) Capteur CTN :.....	8
5°) Résultats et commentaires :.....	10
6°) Conclusion de la partie Température :.....	12
<u>B Mesure de la pression :</u>	13
1°) Objectif de l'expérience.....	13
2°) Les différentes pistes explorées.....	13
3°) Capteur Motorola.....	16
4°) Capteur	
trouvé.....	20
5°) La cannette.....	22
<u>C La rotondité de la terre :</u>	27
1°) Piste	
explorée.....	27
2°) Problèmes rencontrés.....	27
3°) Solution retenue.....	28
4°) Résultat.....	30

Expérience et Analyse annexe

<u>A Détermination de l'altitude :</u>	31
<u>B Photographie de l'éclatement du ballon et de l'ouverture du parachute</u>	32
1°) Pistes explorées.....	32
2°) Problèmes rencontrés.....	32
3°) Solution retenue.....	32
<u>C Composition et forme de la nacelle :</u>	43
1°) Une forme originale.....	43
2°) Démarche de construction.....	46
3°) Schéma électrique.....	47

Conclusion générale

Introduction : cadre de l'expérience

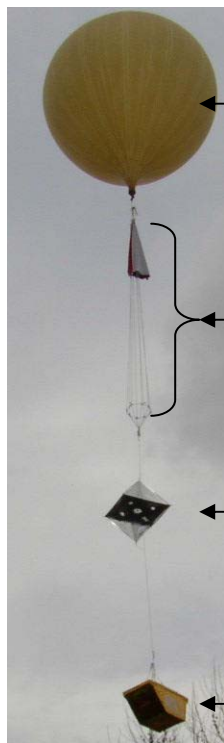
Cette étude fait partie du projet d'initiative technologique (PIT) réalisé lors de la première année au CER ENSAM Angers. Le but est de réaliser des expériences à l'aide d'un ballon expérimental. Ce projet a été suivi par Planète Science et le CNES.

Al principe du ballon :

Pour que l'étude soit validée par le CNES il faut que le ballon :

- Soit un projet s'appuyant sur une démarche expérimentale méthodique et sur une gestion de projet.
- Contienne une expérience embarquée qui le justifie et qui constitue le cœur du projet.
- Respecte les règles présentes dans le cahier des charges fourni par Planète Science.
- Etre lâché en France.

Les ballons expérimentaux sont constitués de la chaîne de vol suivante :



Enveloppe : fabriquée avec un matériau très élastique et très fin. Elle est gonflée à l'hélium, gaz inerte moins dense que l'air.

Le parachute : préalablement inséré dans la chaîne de vol, il s'ouvre pour freiner la descente après l'éclatement du ballon.

Réflecteur-radar : qui permet aux avions et aux aigilleurs du ciel de connaître sa position.

Nacelle : contient l'expérience scientifique. Un système de télémétrie qui retransmet au sol les résultats des mesures effectuées en temps réel.

Toute la chaîne de vol sauf la nacelle est fournie par Planète Science. Notre Projet PIT consiste à réaliser des expériences pour explorer le milieu dans lequel se trouvera le ballon, ainsi que la nacelle contenant les expériences.

B| Les différentes contraintes :

Le projet doit être réalisé avant la soutenance nationale se déroulant à Paris. Il est donc indispensable de réaliser un planning de notre projet. Nous sommes tombés d'accord avec le planning suivant.

Mois		septembre			octobre				novembre				décembre			janvier					février					mars									
		#	7	8	9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	11	11	11	11	11	
Taches	Semaines																																		
	Présentation PIT																																		
	CdCF Version 2																																		
	Bibliographie																																		
	Calculs																																		
	Conception																																		
	Réalisation																																		
	Essai																																		
	Mise au point																																		
	Rapport élèves																																		
	Présentation locale																																		
	Notation																																		
	Présentation générale																																		
	Classement																																		
	Rapport pilote																																		
	Bilan																																		

Le ballon monte en moyenne à une altitude de 30 km. La température à cette altitude est proche de -50°C . Il faudra donc prendre en compte ce paramètre afin que les expériences ne soient pas altérées par la contrainte de température.

De plus, le ballon vol dans l'air ambiant il faut donc prévoir toutes les situations les plus contraignantes pour notre ballon, à savoir la pluie. La nacelle devra être résistante à l'eau.

Le système de télémétrie est fourni par le CNES et l'intermédiaire de Planète Science. C'est un appareil appelé KIWI Millennium et qui envoie trois trames de données toutes les 2 secondes. Il y a possibilité d'obtenir 8 mesures en vol par le KIWI. Il faut cependant que les tensions des capteurs entrant dans le KIWI soient comprises entre 0 et 5 Volts. Il faudra donc prévoir des systèmes électriques qui permettent d'obtenir la plus grande information dans la plage d'utilisation du KIWI.

PIT 1 Ballon ARTS

ARZEL Jérôme	BERNARD Xavier	BLANDIN-TARIS Jean-Maire
BOURDEL Laurent	BRAHAM-BOUCHNAK Tarek	CAMPION Thibaut
CUESTA Bertrand		DE LAVENNE Arthur

Une dernière contrainte s'ajoute à cette dernière. Cette information ne nous a été transmise qu'une semaine avant le décollage s'est pourquoi il peut apparaître des disjonctions au vu de cette information. Le KIWI Millenium n'est pas compatible avec les Amplificateurs Opérationnels. Ceux ciaturent automatiquement dès l'allumage du KIWI. Il faudra, si l'on utilise des AO blinder les systèmes électriques par des cages de faraday et des condensateurs de découplage. Enfin, il faudra que les fils de transmission de données électriques soient les plus court possible et soient torsadés.

A l'atterrissage de la nacelle, il faut que l'on puisse la récupérer. Elle doit donc être assez solide pour résister au choc de l'atterrissage.

C| Cahier des Charges du Ballon :

Le cahier des charges du ballon est fourni par Planète Science. IL est rapidement synthétisé par :

- La masse totale de la nacelle doit être inférieure à 2,5 kg.
- La nacelle ne doit pas embarquer des animaux morts ou vifs.
- Contrôler parfaitement les expériences dangereuses.
- La tension du signal à l'entrée de chaque voie du Kiwi doit être comprise entre 0 et 5V.
- La chaîne de mesure doit posséder une autonomie supérieure à 3h.
- Tous systèmes pyrotechniques sont interdits.

Certaines de ces conditions en amène d'autre sur la nature et la forme du lancé. Elles sont les mêmes pour chaque lancé et disponible dans le document fourni par Planète Science. Il est évident que le non-respect d'une condition fixée par le cahier des charges entraîne une annulation du lâché. Nous veillerons donc bien à vérifier que chaque condition est respectée.

I. Un milieu à explorer

Le but d'un ballon expérimental est d'explorer le milieu dans lequel il va être lâché. C'est à dire d'étudier ce qui se passe entre le sol et une distance de 30 km. A la suite du « Brainstorming » réalisé pendant le colloque de Lille toutes les idées ont été collectées. Les expériences proposées sont :

Altitude ; Pollution (échappement, ozone) ; vents ; Ultra Violet
Intensité lumineuse ; rejet de CO₂ ; plantes ; Pression
Température ; mouvement de la nacelle ; densité de l'air
Comportements des matériaux ; tests comparatifs de capteurs ; hydrométrie
Photographie ; viscosité de l'air ; étude de la chute libre
Altitude d'ouverture du parachute ; détection d'engins spatiaux ; bruit
Propagation des ondes ; composition de l'air ; électricité statique.

Suite à ce « brainstorming » nous avons décidé que les expériences à faire seraient celle colorisée. Les idées rouges correspondent à la nature même de l'environnement. Tandis que les idées roses sont des conséquences des autres idées ou des expériences originales ayant aucun lien avec le milieu.

La photographie se passera en deux temps :

- Etude de la rotondité de la terre.
- Photographie de l'éclatement du ballon et de l'ouverture du parachute.

A) Mesure de Température :

1°) Les objectifs de l'expérience :

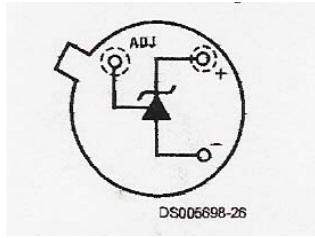
L'objectif de cette mesure est de mesurer la température extérieure et voir l'évolution de la température suivant l'altitude du ballon.

2°) Choix du capteur :

Plusieurs pistes ont été explorées tel le thermocouple ou alors la thermistance. Nous avons opté pour la thermistance car le thermocouple est difficilement exploitable. En effet, le budget adopté pour ce projet ne nous permettait pas de posséder un tel composant. De plus, du point de vue étalonnage, il nous fallait une source froide constante pour que puisse mesurer la température.

Nous avons donc retenu le principe de thermistance. Deux capteurs différents ont été adoptés, la CTN et le LM135H

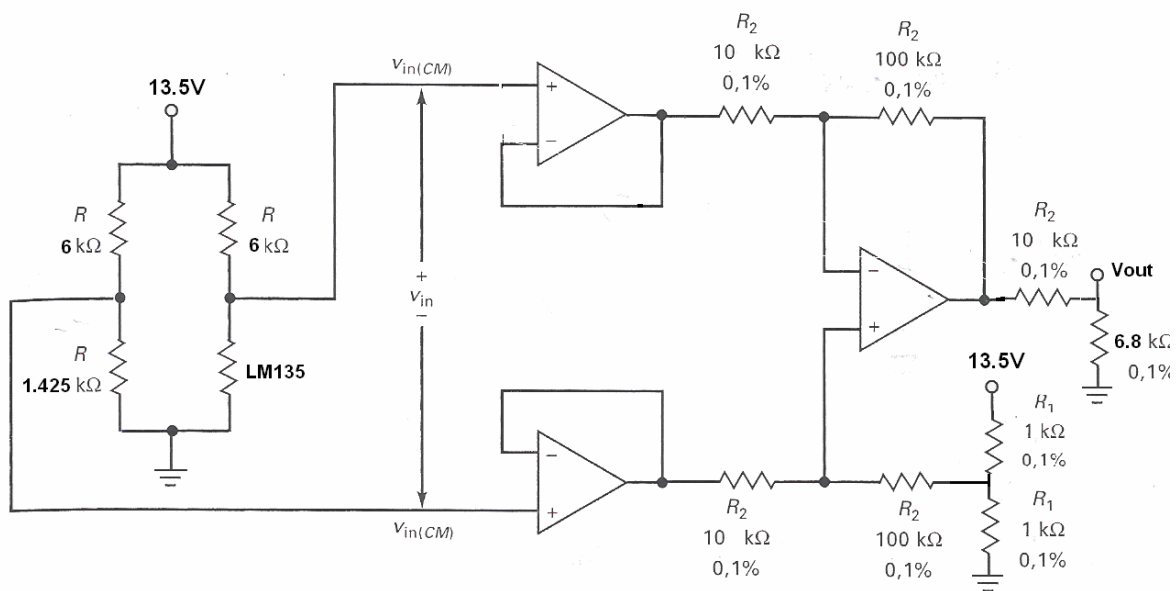
3°) Capteur LM135H :



Ce capteur supporte des températures de l'ordre de -60°C à 150°C . Il est calibré pour qu'à 25°C , température ambiante, on est 2.982V . Ce capteur varie de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ or on a suppose qu'il y avait une variation de 70°C .

a) Principe de mesure :

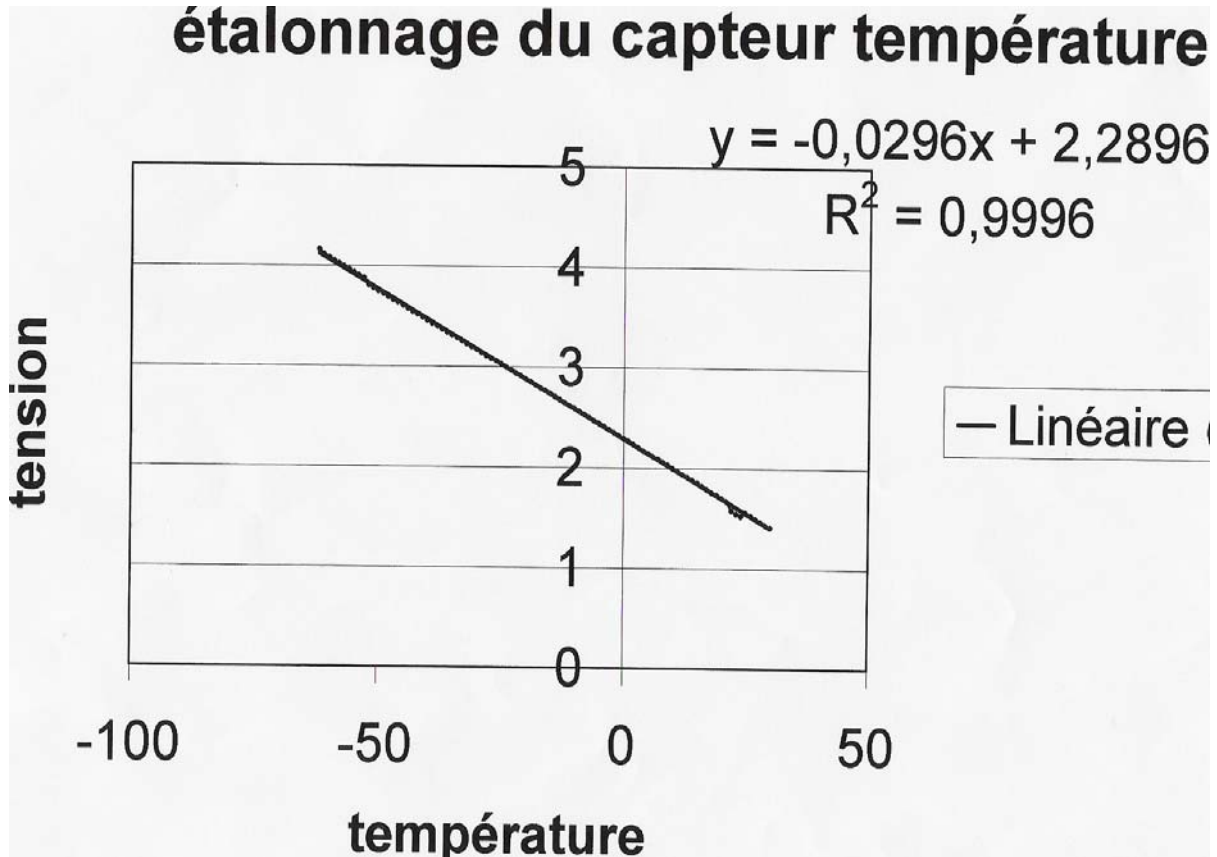
Nous avons choisit de faire un pont avec capteur en entrée d'un amplificateur d'instrumentation. En effet, le signal de sortie du pont étant une petite tension DC, il nécessaire d'employer des amplificateurs continus.



Le pont de wheastone nous permet d'obtenir une différence de résistance donc de tension. Cette variation est posée à l'entrée d'un amplificateur qui multiplie par 10 cette différence. Ensuite, grâce à un diviseur de tension on décale la tension pour qu'elle ne dépasse pas les 5 V imposé par le récepteur KIWI

b) Courbe d'étalonnage :

La température varie en fonction de l'altitude. En effet, dans le domaine qui nous intéresse, c'est à dire 0 km à 40km, la température varie de 25°C à -60°C . A l'aide de ce capteur nous obtenons une courbe de la température en fonction du temps passé en l'air.



4°) Capteur CTN :

a) Principe :

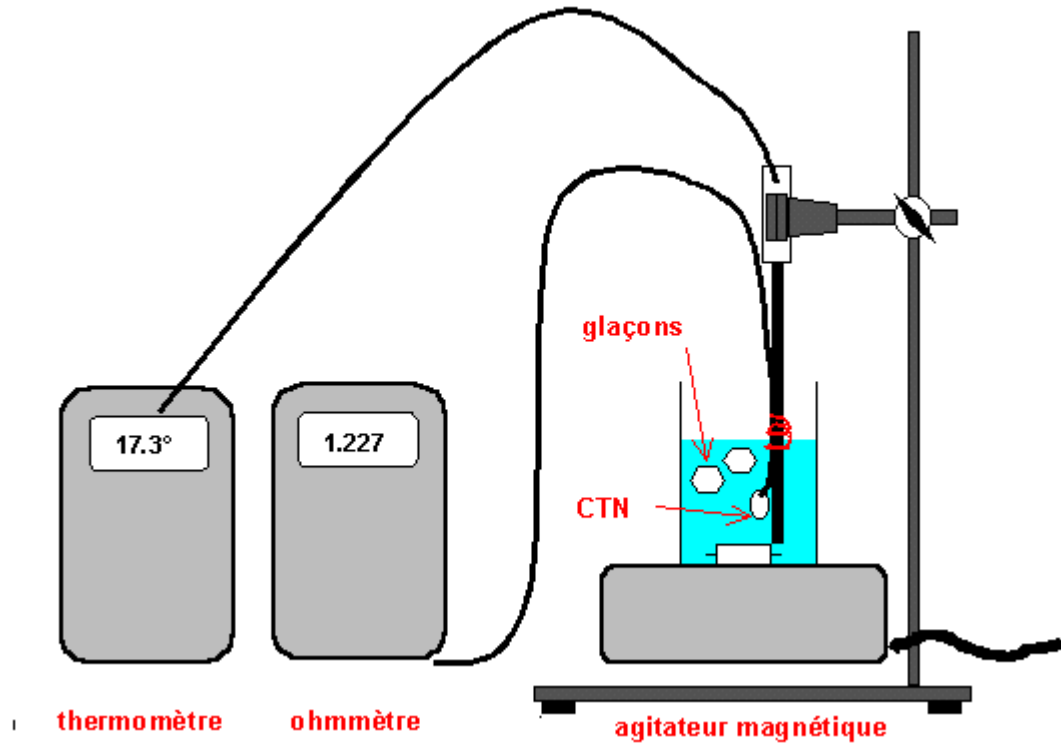
Il s'agit de mettre en œuvre et d'utiliser un capteur de température construit autour d'une thermistance à coefficient négatif ou CTN. La résistance d'une CTN dépend de la température : elle diminue si la température augmente et inversement. Si on connaît la fonction $V=f(T)$ qui exprime la résistance de la CTN en fonction de sa température, on pourra connaître l'évolution de la température au cours du vol et la comparer avec le capteur précédent.

b) Etalonnage de la CTN :

Afin de connaître la fonction précédente, il est nécessaire d'étalonner la CTN.

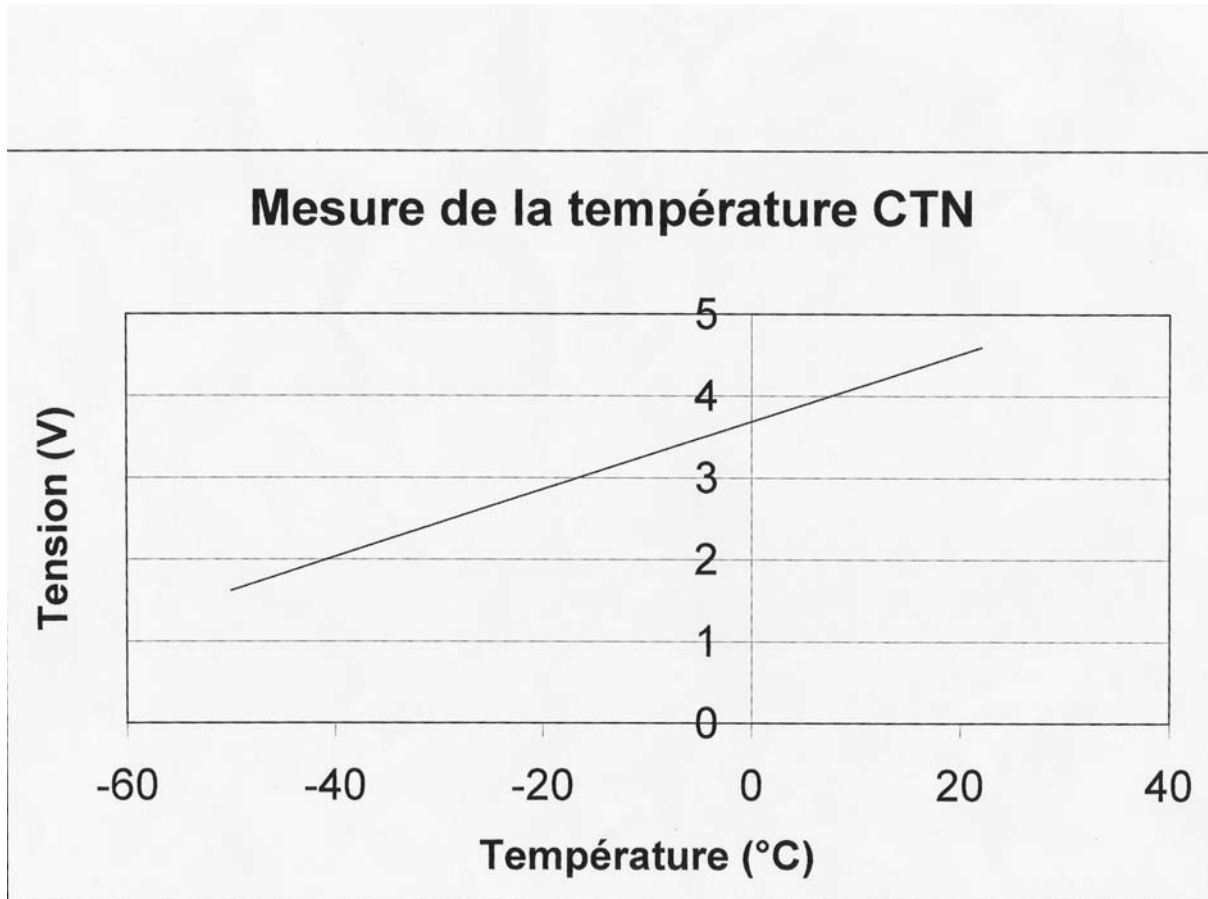
Rappel théorique : $R_{CTN} = R_0 \cdot e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{298})}$

c) Montage :



On effectue le montage suivant : la CTN est rendue solidaire de la sonde du thermomètre électronique grâce à un petit élastique. Une CTN de 1 kW à 25 °C est une valeur très courante et peut être utilisée avec profit. Le rôle de l'agitateur est de rendre homogène la température de l'eau dans laquelle plonge la sonde. Les glaçons ajoutés au fur et à mesure refroidissent l'eau chaude contenue initialement dans le bêcher.

d) Courbe d'étalonnage :



5°) Résultats et commentaires :

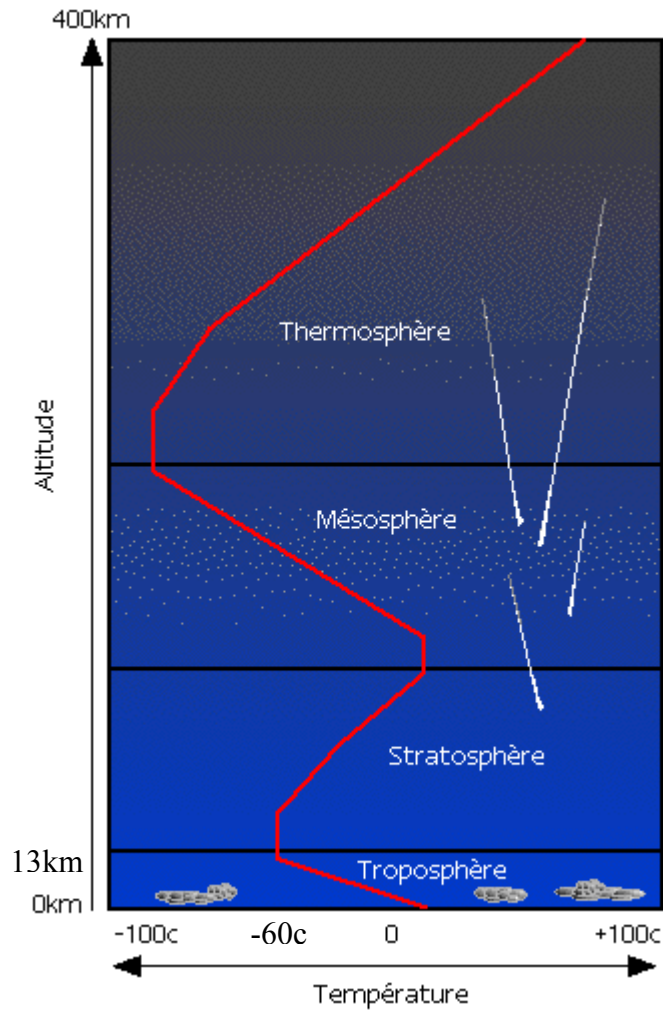
a) Modélisation de la température en fonction de l'altitude :

La température varie en fonction de l'altitude. En effet, dans le domaine qui nous intéresse, c'est à dire 0 km à 40km, la température varie de 25°C à -60°C. A l'aide de ce capteur nous obtenons une courbe de la température en fonction du temps passé en l'air.

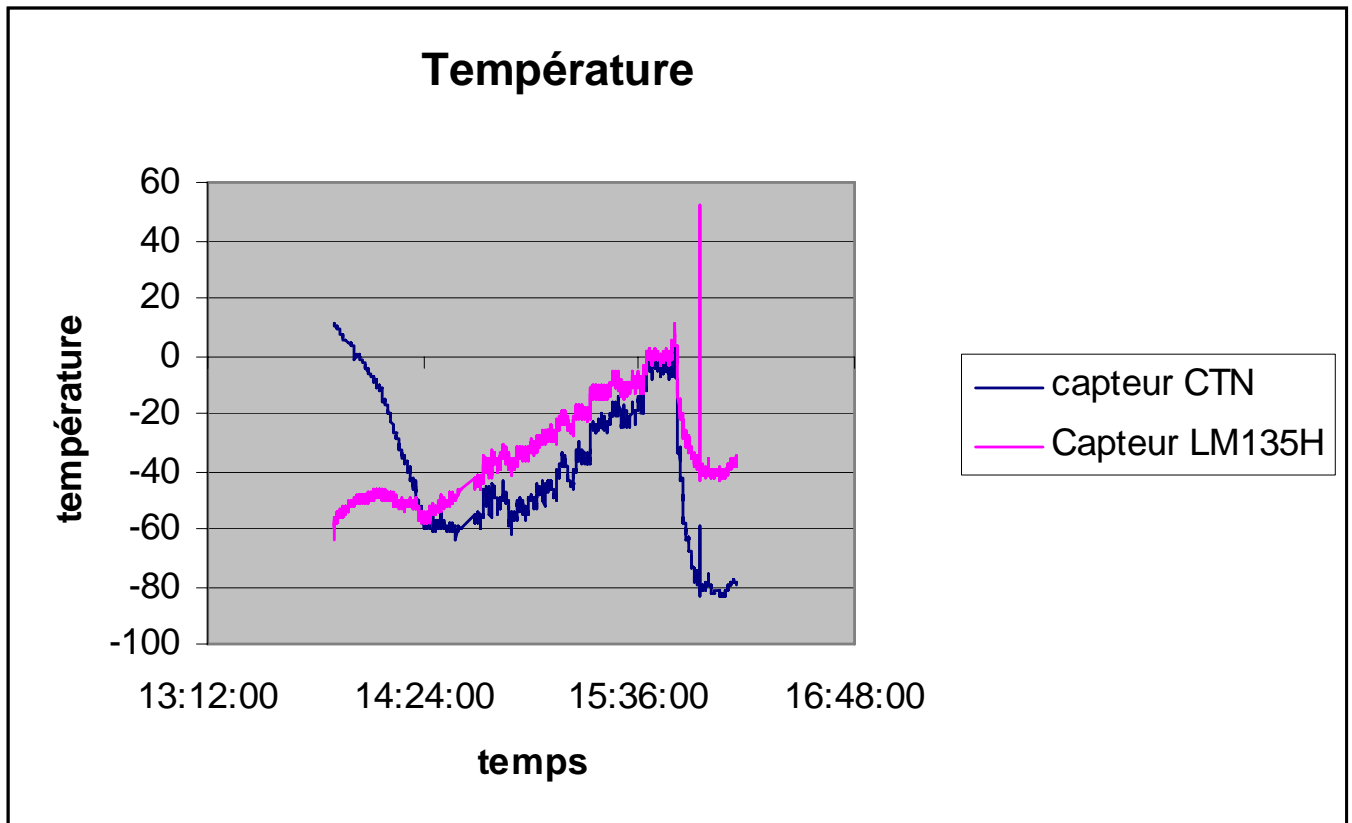
ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur



b) Courbes expérimentales de mesure de température :



La télémétrie nous a permis d'obtenir l'évolution de la température au cours du vol. Les petites oscillations qu'on observe sont dues à la mauvaise entente entre l'émetteur KIWI et les amplificateurs opérationnels. Nous avons dû donc installer des cages de faraday ainsi que des condensateurs à basse capacité pour limiter les Hautes fréquences qui se propagent des circuits et surtout des fils. En revanche, on retrouve bien l'allure générale de la Température.

On remarque d'après les courbes que le ballon a explosé à 15h50 environ.

6°) Conclusion de la partie Température :

Pour conclure, les expériences adoptées nous ont permis de travail dans le domaine électronique et ainsi s'instruire dans ce domaine.

BI Mesure de la Pression :

1°) Objectif de l'expérience :

Le but de ces expériences est de mesurer la pression lors de la montée du ballon.

2°) Les différentes pistes explorées :

Nous avons exploré différentes pistes qui sont décrites ci-dessous

a) Capteur de pression potentiométrique :

Quand l'intérieur d'un tube de bourdon est soumis à une pression supérieure à la pression ambiante, le tube se déforme ; Sa section s'arrondit ce qui tend à dérouler le tube. Cette déformation est utilisée pour déplacer le curseur d'un potentiomètre linéaire aux bornes duquel une tension constante est appliquée. La tension recueillie entre le curseur et le point commun du montage varie proportionnellement avec la différence de pression qui existe entre le tube de bourdon et le milieu ambiant. Le transducteur ainsi constitué a l'inconvénient d'avoir une précision limitée mais l'avantage d'avoir une réponse linéaire, d'être économique et de fournir un signal de sortie de niveau élevé sous faible impédance.

Cette solution ne sera pas retenue. En effet dans notre cas il nous faudrait un matériau qui se déforme sous la pression indépendamment de la température (le ballon atteindra des températures de l'ordre de -40°C). Nous avons donc jugé cette solution trop compliquée.

b) Capteur de pression à jauges de déformation :

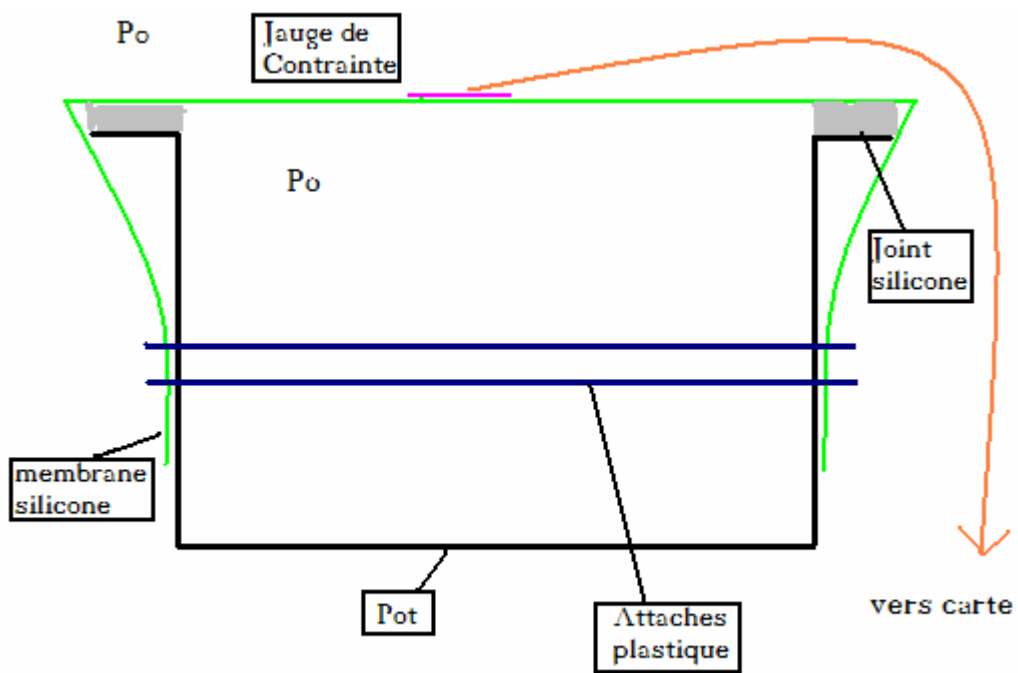
Bien que ces capteurs aient une faible sensibilité, ils sont robustes, relativement simples, possèdent d'excellentes caractéristiques de linéarité et d'hystérésis dans une grande gamme de température.

La résistance de la jauge de déformation varie en fonction de la pression.

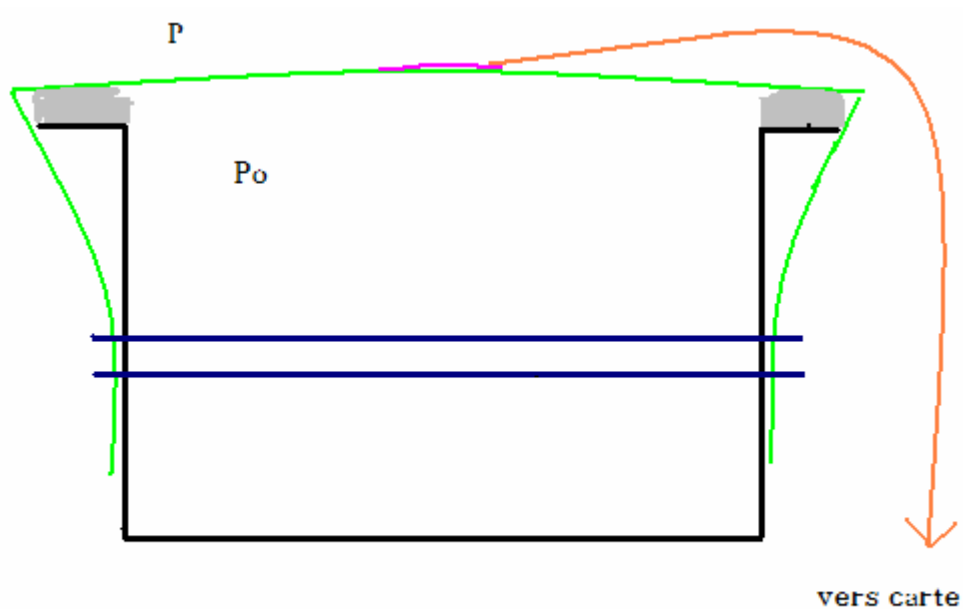
Nous avons alors décidé de réaliser un capteur de pression qui fonctionnerait selon ce mécanisme.

- 1ère méthode envisagée :

A l'instant initial



A l'instant t (pression extérieure P)



Idée : Capteur de pression avec une membrane en ballon de baudruche équipée d'un stylo qui évolue librement sur une feuille.

Au départ nous avons envisagé de placer un levier sur la membrane dont un potentiomètre convertirait le déplacement de celle-ci en une tension. A priori le couple sera très faible et donc induira un déplacement très faible. C'est pourquoi nous avons finalement envisagé la méthode décrite sur les schémas ci-dessus.

Réalisation de l'expérience :

- Membrane : en discutant avec M. Caillaux, nous avons choisi une membrane en silicone au vu de sa déformation possible. Nous avons donc contacté l'entreprise Verneret à Saint-Gobain qui nous a envoyé gratuitement un échantillon de feuille versilic d'épaisseur 0.5 mm.

Problème : nous ne connaissons pas les caractéristiques du matériau précisément.

- Pot : nous avons tout d'abord travaillé sur un pot récupéré au labo de DEPL sur lequel nous avons fait une erreur : nous avons cisailé la collerette (initialement nous ne la voulions pas). Par la suite nous nous sommes aperçus qu'il était judicieux d'appuyer la membrane sur la collerette. Nous avons donc récupéré un autre pot en DEPL, acheter du joint silicone et coller la membrane sur le pot avec une couche de joint. L'étanchéité est assurée par le joint et par 2 bagues plastiques.
- Jauge : nous avons récupéré une jauge de déformation de Vishay.

Problème : Quelle colle doit-on prendre pour coller la jauge sur la silicone ? Après renseignement auprès de l'entreprise Loctite, nous avons trouvé une colle mais les délais d'attente étaient trop longs et le prix trop important. On réalise donc au labo un essai de collage d'une jauge sur une chute de silicone. Au premier abord tout se passe bien mais le lendemain la jauge n'a pas collé sur le silicone.

La solution est donc abandonnée.

- 2ème méthode envisagée :

Utilisation d'une canette bouchée sur laquelle nous avons collé une jauge de déformation. Le principe est le même que la première solution : sachant que la pression diminue avec l'altitude, le volume de la canette augmentera. La jauge mesurera donc cette déformation.

c) Capteur de pression Piézoélectrique :

Principe : la pression exercée sur les faces d'un cristal de quartz se traduit par une différence de potentiel entre les deux faces.

Nous avons donc repris le capteur Motorola MPX 2200 AP de l'année précédente.

d) Capteur de pression trouvé dans les laboratoires :

Nous sommes tombés par hasard sur un capteur de pression en cherchant des résistances. Aucune caractéristique n'était inscrite dessus.

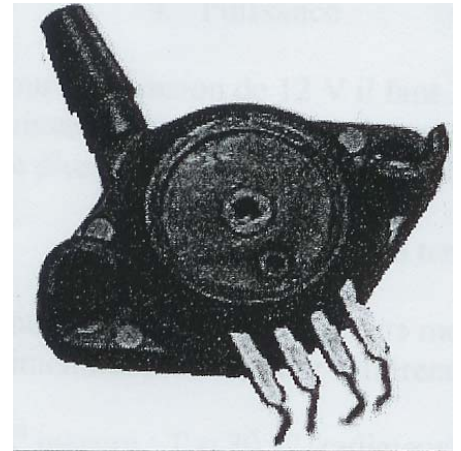
3°) Capteur Motorola :

Nous avons donc pour cette expérience choisi de reprendre le capteur utilisé par l'équipe de PIT Ballon de l'année précédente.

a) Les Avantages du capteur Motorola :

Nous utilisons ce capteur à quartz pour les raisons suivantes :

- Mesurer des pressions comprises entre 0 et 2 bars
- Fonctionner en capteur absolu
- Pouvoir être alimenté par la source du KIWI (c'est-à-dire ici entre 0 et 12V)
- Fonctionner à des températures très basses (inférieur a -50°C)
- Etre linéaire à 2% près



Capteur Motorola MPX 2200 AP

b) Circuit du montage :

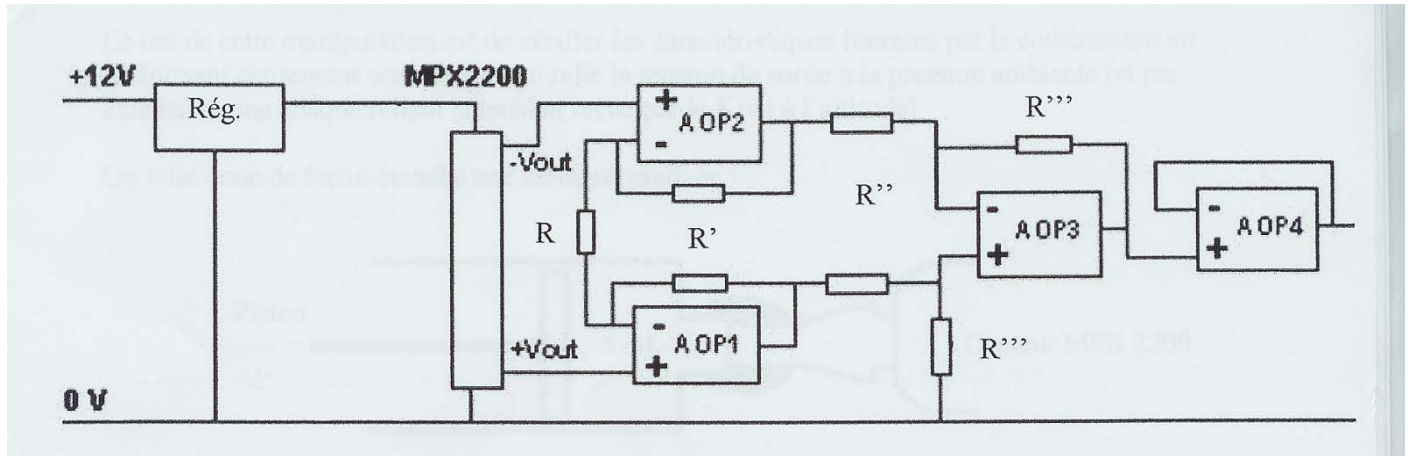
On a besoin d'amplifier le signal de sortie car la sensibilité de ce capteur est de $0,2\text{mV/kPa}$. En effet sur la plage de pression mesuré nous avons une variation d'environ 100kPa et donc de $0,02\text{V}$.

Donc cette amplification permettra de toujours fonctionner dans la plage d'utilisation du KIWI qui est de 0 à 5V.

Afin de faciliter le montage nous avons choisi des AOP fonctionnant en alimentation asymétrique (0-15V), il s'agit de LM 124 J.

Ensuite pour alimenter notre capteur en 12V, nous avons choisi de mettre entre l'alimentation et le capteur un régulateur de 12V.

Dons voici le montage électrique de notre plaque d'alimentation.



Voici les valeurs des différentes résistances utilisées

- $R = 4,7 \text{ k}\Omega$
- $R' = R'' = 10 \text{ k}\Omega$
- $R''' = 235 \text{ k}\Omega$

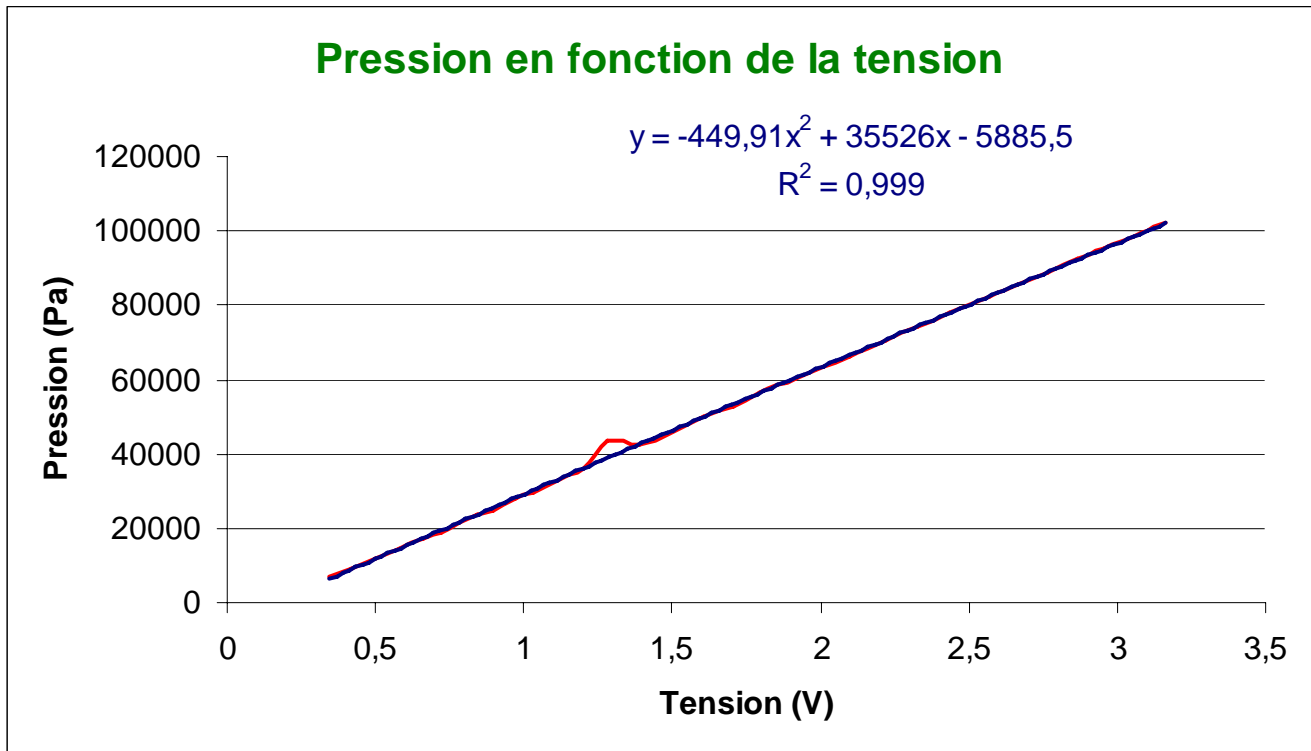
Grâce à ces valeurs, on obtient en sortie du montage à la pression ambiante de 1,02 bars une tension de 3,165V.

c) Étalonnage du capteur de pression :

Le but de cette manipulation a été de trouver la relation qu'il y avait entre la pression et la tension de sortie de l'ensemble capteur plus carte d'amplification.

Pour ce faire nous avons utilisé la cloche à vide qui se trouve dans le labo de thermique du CER ENSAM Angers. En effet cette cloche nous a permis de diminuer la pression et d'obtenir ainsi une relation entre cette variation de pression et la tension de sortie de notre capteur.

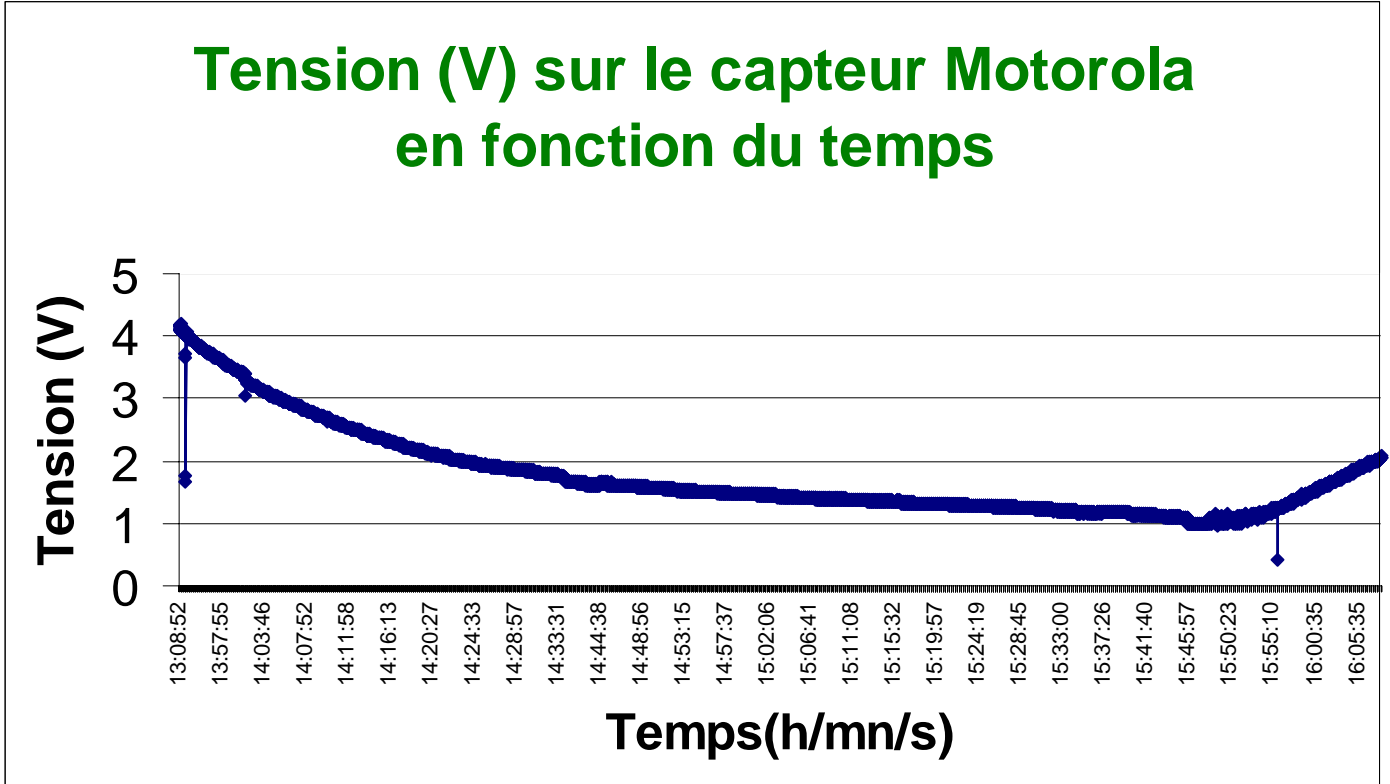
Nous avons donc obtenu les résultats ci-dessous.



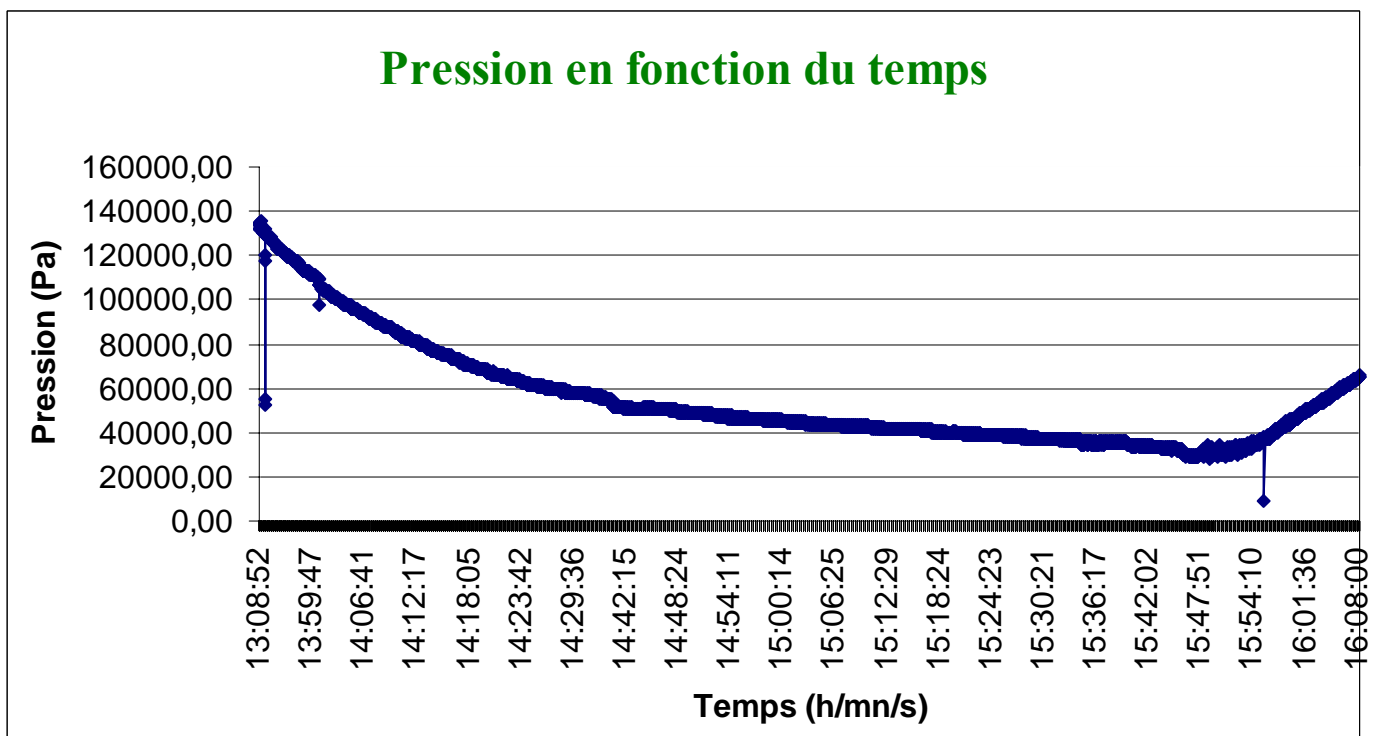
On peut voir que cette comparaison entre la tension est assez bonne car on a un coefficient de corrélation de $R^2 = 0,999$. On a approché par un polynôme du second ordre afin de d'avoir un meilleur coefficient de corrélation.

d) Exploitation des résultats obtenus :

Voici les tensions que nous avons obtenues avec la télémessure pour ce capteur



Maintenant nous pouvons obtenir la pression à l'aide des résultats obtenus lors de l'étalonnage.



ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur

Cette courbe est représentative de ce qu'on attendait lors de cette mesure de pression, c'est-à-dire une diminution de la pression jusqu'à l'explosion du ballon puis la pression augmente à nouveau lors de la descente de celui-ci.

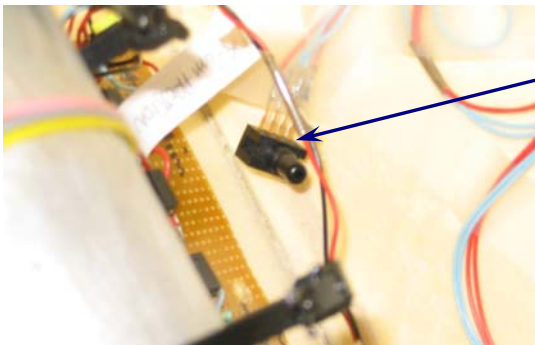
Ensuite, on peut remarquer que l'explosion du ballon a dû se produire vers 15h48min. De plus on remarque que si on décale la courbe vers le bas de 30000 Pa, on obtient une courbe correcte. Ce décalage doit être dû aux interférences du KIWI.

4°) Capteur trouvé

a) Principe :

La carte d'amplification est la même que celle utilisée pour le capteur Motorola (voir ci-dessus). Nous avons cependant placé un régulateur 5 V entre le kiwi et la carte car nous nous sommes aperçus que ce capteur saturait lors de l'étalonnage et risquait donc d'endommager le kiwi. De plus, nous avons placé le capteur à l'intérieur de la nacelle car nous ne savions pas s'il était compensé en température et nous savions que la température dans la nacelle ne devait pas descendre beaucoup en dessous de 0°C.

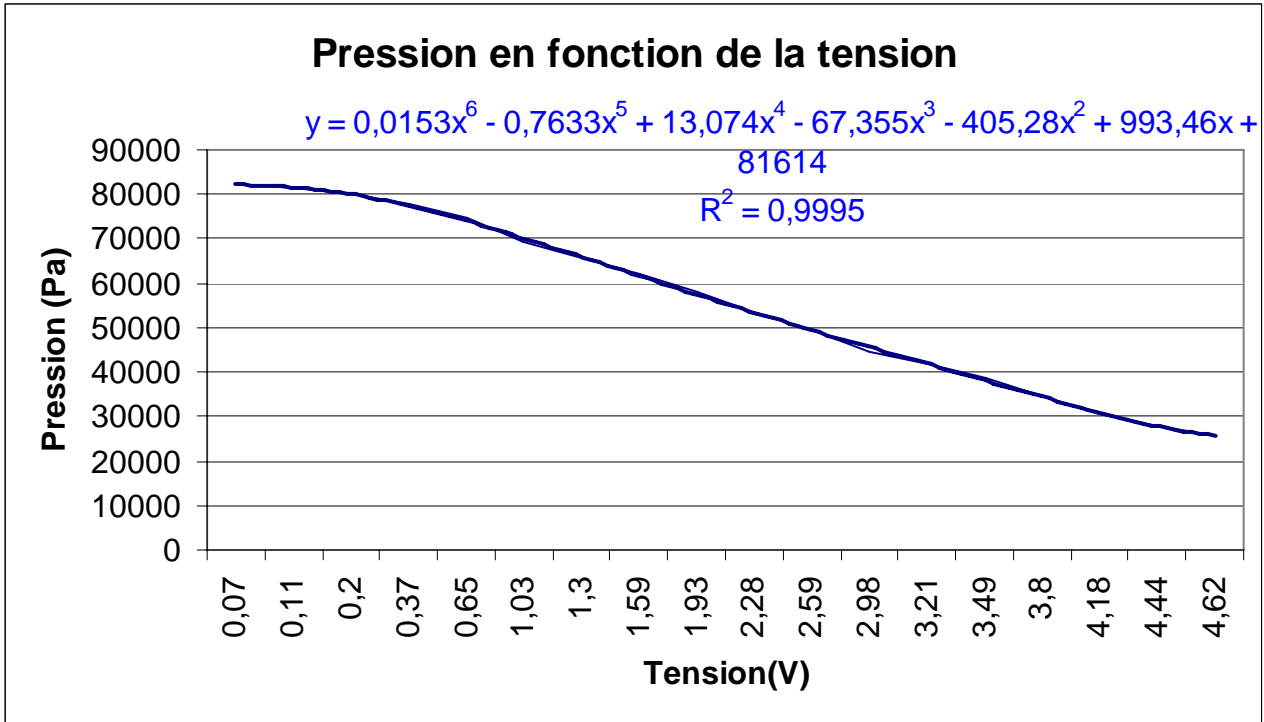
Voici une photo du capteur installé dans la nacelle.



Capteur installé dans la nacelle

b) Etalonnage :

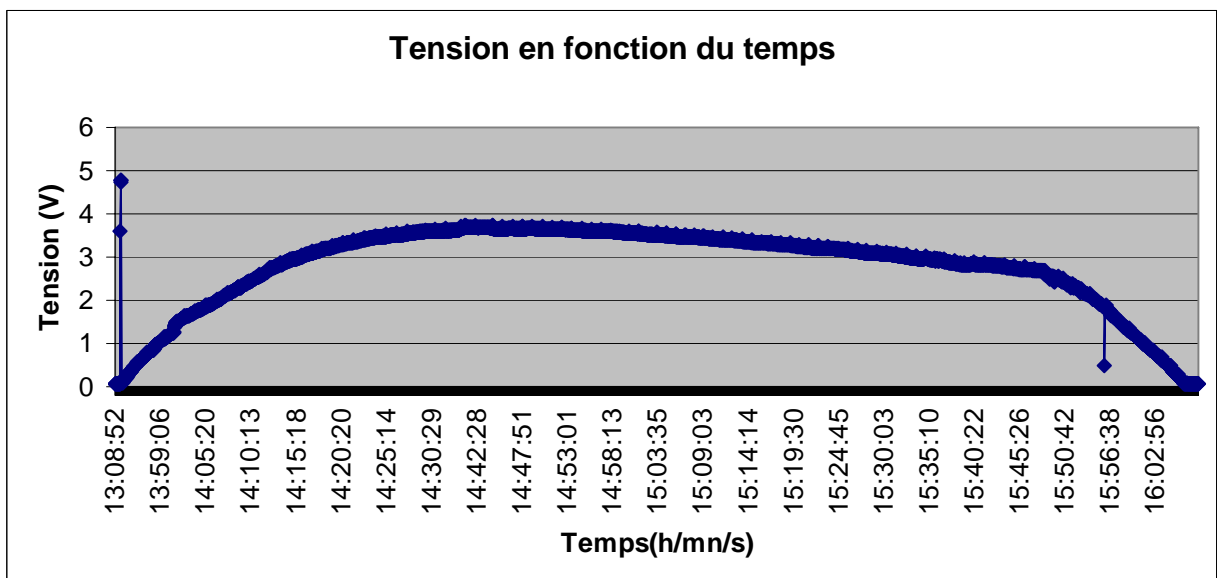
Nous suivons la même méthode d'étalonnage que pour le capteur Motorola (utilisation de la cloche du labo de thermique). Voici les résultats que nous avons obtenus.



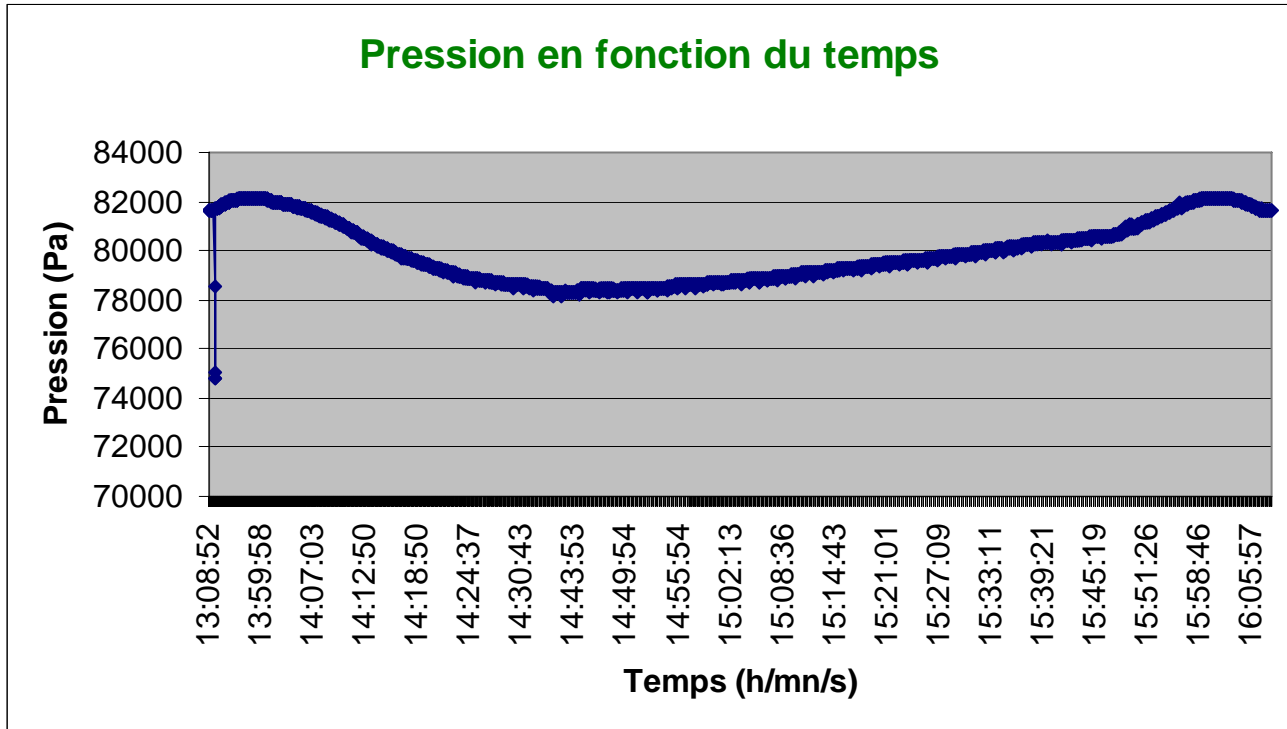
Nous avons approché la courbe à un polynôme de degré six afin d'obtenir un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9995$.

c) Résultat de la télémessure :

Voici les résultats que nous avons obtenus avec la télémessure.



Et donc maintenant à l'aide des courbes obtenues pendant l'étalonnage, on peut en déduire la pression en fonction du temps.



d) Analyse des résultats :

Nous constatons que la courbe réelle obtenue n'est pas comparable à la courbe d'étalonnage. Plusieurs explications sont possibles :

- le capteur n'est pas compensé en température.
- malgré la présence d'un régulateur le capteur a fonctionné en saturé.

Il est surprenant d'obtenir une telle courbe après télémessure au vu de la courbe d'étalonnage.

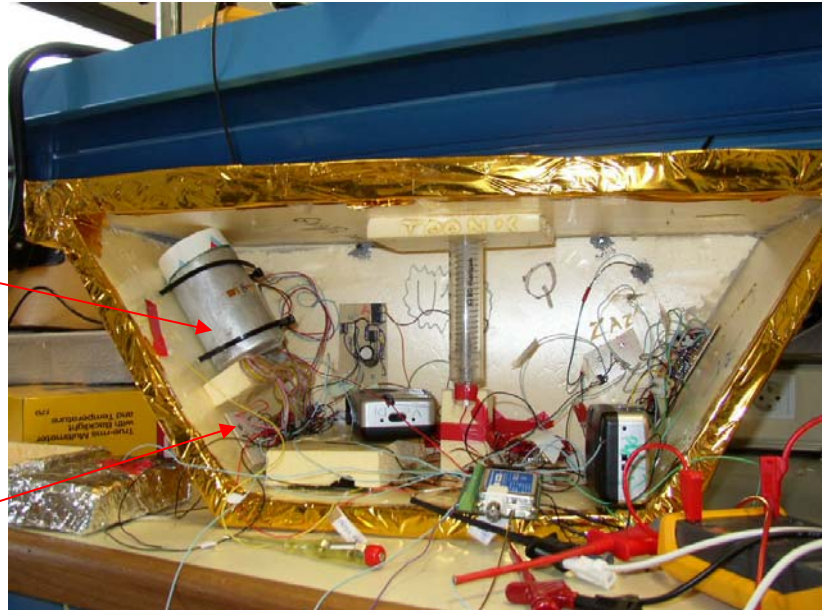
5°) La canette :

a) Principe du fonctionnement :

On a donc dans cette solution collée une jauge de déformations sur une canette préalablement polie et hermétiquement close grâce à une résine déposée sur son dessus. La pression interne est donc la pression atmosphérique. La canette se « gonfle » avec une baisse de pression externe. La jauge nous donnera la valeur de cette déformation et le circuit électronique nous donnera une image tension de cette déformation et donc des variations de pression.

Emplacement
de la canette
dans la nacelle

Circuit
électronique



La résistance de la jauge de déformation choisie était de 120 ohms. Nous avons ainsi placé cette jauge dans un pont de Wheastone avec 3 autres résistances de 120 ce qui nous garantissait l'équilibrage du pont. On alimente comme convenu ce pont en $U=13,5$ V. En réalisant des essais d'étalonnage de cette jauge, on a évalué qu'entre la pression atmosphérique et une pression d'environ 1000 Pa, la résistance de la jauge devrait varier de $\Delta R= 0,168$ ohms. En effet, on a la formule reliant cette variation de résistance et la déformation de la jauge :

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon$$

Avec R : résistance de la jauge (Ω)
K : facteur de jauge
 ε : déformation de la jauge

En évaluant la variation de déformation de la jauge à $700 \cdot 10^{-6} \varepsilon$, le facteur de jauge étant de $K=2,135$ on trouve

$$\Delta R = 120 * 2,135 * 700 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta R = \mathbf{0,168 \Omega}$$

La variation de tension théorique à la sortie du pont de Wheastone est donnée par :

ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur

$$\Delta V = \frac{1}{4} K \cdot \varepsilon \cdot U$$

Avec

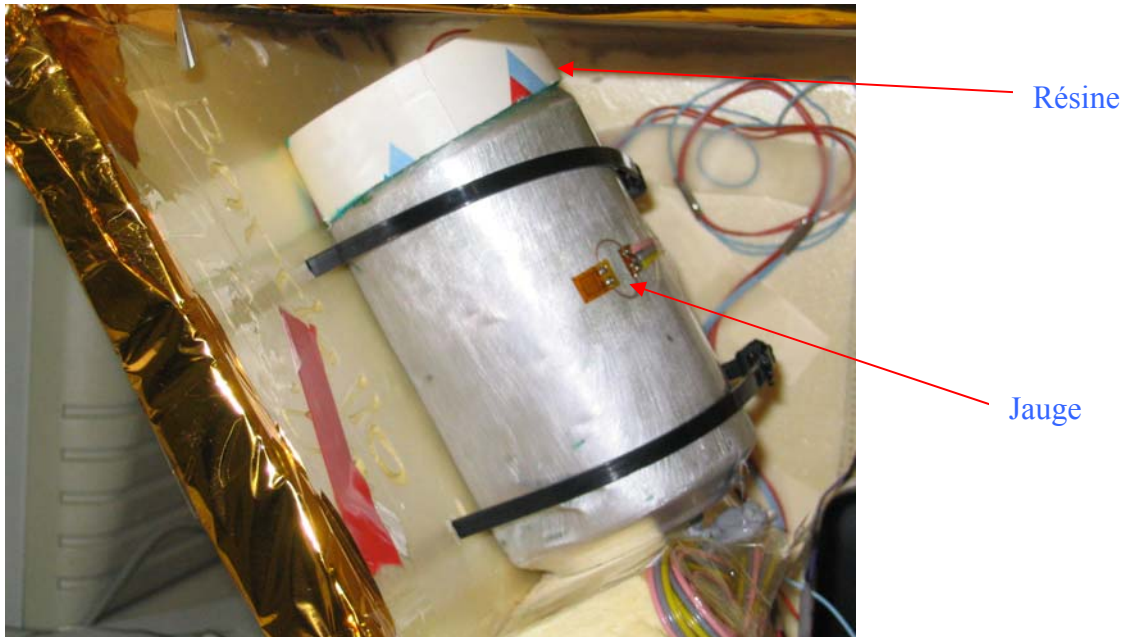
U : tension d'alimentation du pont

Le coefficient $\frac{1}{4}$ représente le fait qu'il n'y ait qu'une seule
jauge active dans le pont

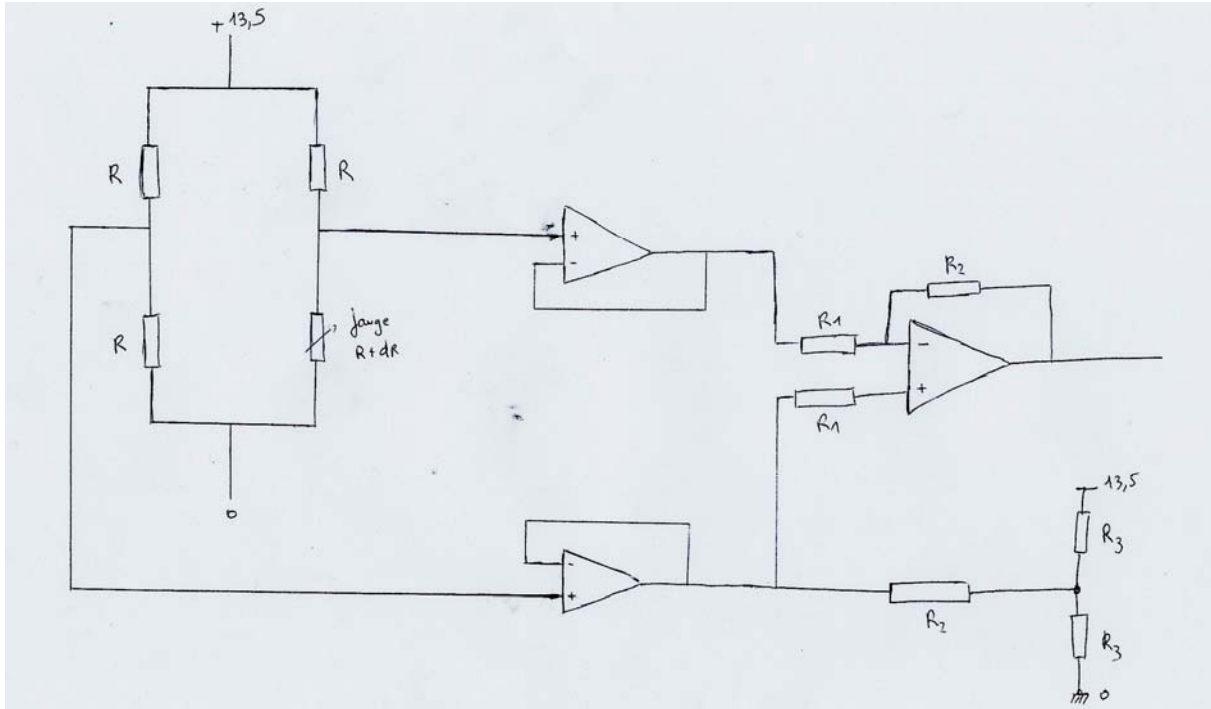
Ce qui nous donne une variation de tension à la sortie du pont de

$$\Delta V = 4,7 \text{ mV}$$

On s'est ainsi rendu compte de la nécessité d'amplifier beaucoup cette variation de tension en sortie du pont, de l'ordre en première estimation de 500. En effet, le kiwi ayant une résolution de 20 mV, une grande amplification est primordiale pour avoir des résultats à l'arrivée.



On a ainsi opté pour un montage en aval du pont classique avec deux amplificateurs suiveurs et un amplificateur de gain. On donne ci-dessous le montage global de la partie électrique de ce capteur :



Avec $R = 120 \Omega$
 $R1 = 1 \text{ k}\Omega$
 $R2 = 100 \text{ k}\Omega$
 $R3 = 1 \text{ k}\Omega$

Le gain de ce circuit est donc $m = \frac{R2}{R1} = 100$

b) Essai effectué sur la canette :

Les premiers essais avec la totalité du circuit se sont révélés assez décevants. En effet la tension de sortie était très peu stable et le gain pratique ne correspondait pas vraiment à celui calculé théoriquement. Lors de la mise en cloche à vide, la descente de pression a provoqué la rupture de la résine qui a sauté de la canette. Le choc de la canette contre la cloche, consécutif à cela, fut assez violent et la canette fut abîmée.

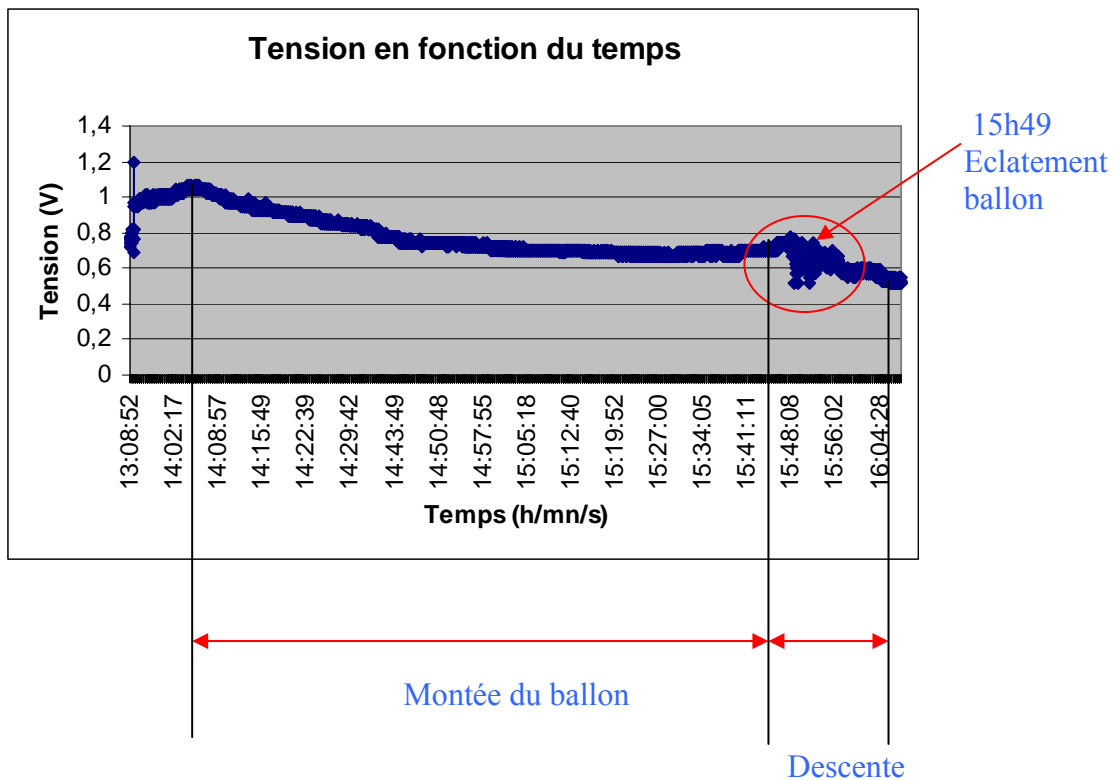
Ainsi, nous avons mis en place une autre résine sur le dessus de la canette tout en ayant pris garde d'augmenter sa rugosité en la rayant. Ce fut meilleur.

Nous avons donc du pour finir baisser le gain total du circuit, ce qui a permis de rendre un peu plus stable la tension de sortie mais toutefois les valeurs ne concordaient pas encore parfaitement avec nos attentes.

On a décidé de ne pas étalonner ce capteur car d'un essai à l'autre on ne récupérait quasiment jamais des valeurs de tension identiques pour des pressions identiques bien qu'on assiste toujours à une baisse de tension lorsque la pression diminue. Nous avons donc choisi de garder cette expérience qui nous permettrait de voir l'allure de la variation de pression.

c) Résultat de la télémessure :

On donne donc ci-dessous la courbe donnant l'évolution de la tension de sortie en fonction du temps :



Dans la phase de montée du ballon, nous avons bien l'allure attendue pour notre courbe de pression. En effet, la tension diminue plus rapidement jusqu'à environ 14h50 puis diminue mais de façon moins importante : Nous avons quasiment un palier de tension jusqu'à l'éclatement à 15h49. Ces horaires correspondent bien à ceux des courbes du capteur Motorola. L'allure de notre courbe est donc bonne. Ouf ! Cependant pendant les dix premières minutes on assiste à une augmentation de tension difficile à expliquer : peut-être la température est elle intervenue et faussé l'allure de la courbe...

La phase de descente du ballon est plus difficile à expliquer sur la courbe : alors que la tension devrait remonter, elle poursuit sa descente après une phase floue consécutive à l'éclatement du ballon. Sans doute qu'il y a eu un problème au niveau du système lors de l'éclatement qui a faussé cette fin d'expérience...

ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur

Au final, nous ne pouvons pas dire que nos résultats soient fiables au niveau des valeurs obtenues. En effet avec la baisse de température en altitude, il y a un phénomène de dilatation de l'aluminium de la canette, ce qui joue sur la déformation de celle-ci. Lors des essais, une mise à -20°C de la canette à la pression atmosphérique a provoqué une déformation de $100\ \mu\epsilon$, ce qui n'est pas négligeable au vu des $700\ \mu\epsilon$ de déformations attendues lors de la montée du ballon. De plus, nous n'avons pas réussi à résoudre les problèmes de valeur changeante d'un essai à l'autre, ce qui ne nous a pas permis de réaliser une bonne courbe d'étalonnage.

C] La rotondité de la Terre :

1°) Piste explorée :

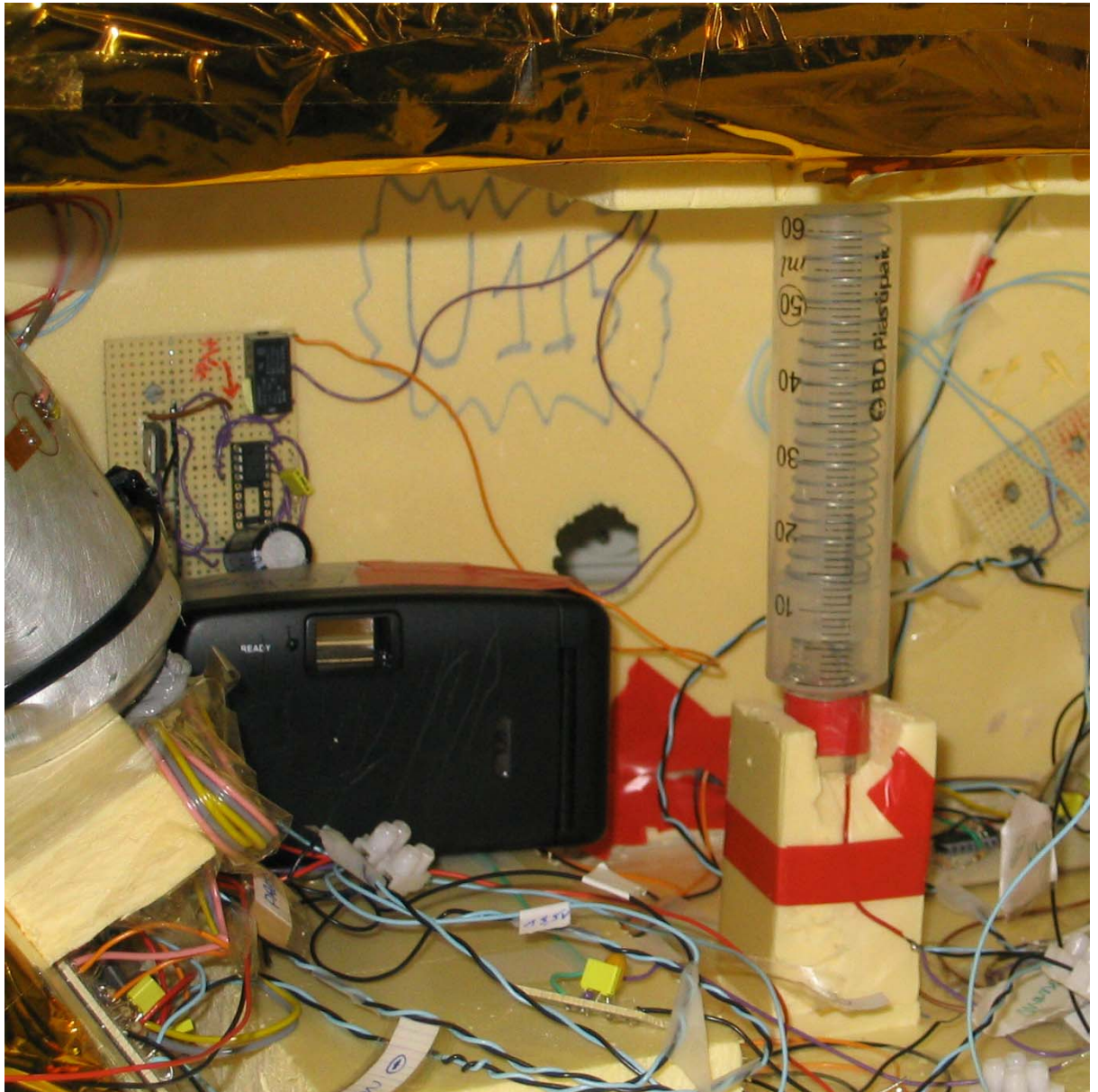
Nous avons décidé de photographier la rotondité de la terre, non pour nous assurer que la Terre était ronde : on le sait depuis Galilée ! Nous avons décidé de nous tourner vers cette expérience pour voir si à la trentaine de kilomètres d'altitude où monte le ballon cette courbure était décelable et si l'aplatissement léger de la Terre aux pôles était perceptible à cette altitude et à cette latitude.

2°) Problèmes rencontrés :

La seule manière d'observer la rotondité de la terre est d'exploiter des images. Les solutions envisageables doivent répondre aux contraintes d'embarquement et au budget réduit dont nous disposons. Pour obtenir une image nette la solution retenue doit être stable. De plus, deux questions se posaient. Soit nous observions en direct la rotondité soit l'analyse ne se ferait qu'une fois la récupération de la nacelle. La solution retenue doit être facilement exploitable, peu cher, résistante à l'environnement ambiant de la nacelle.

3°) Solution retenue :

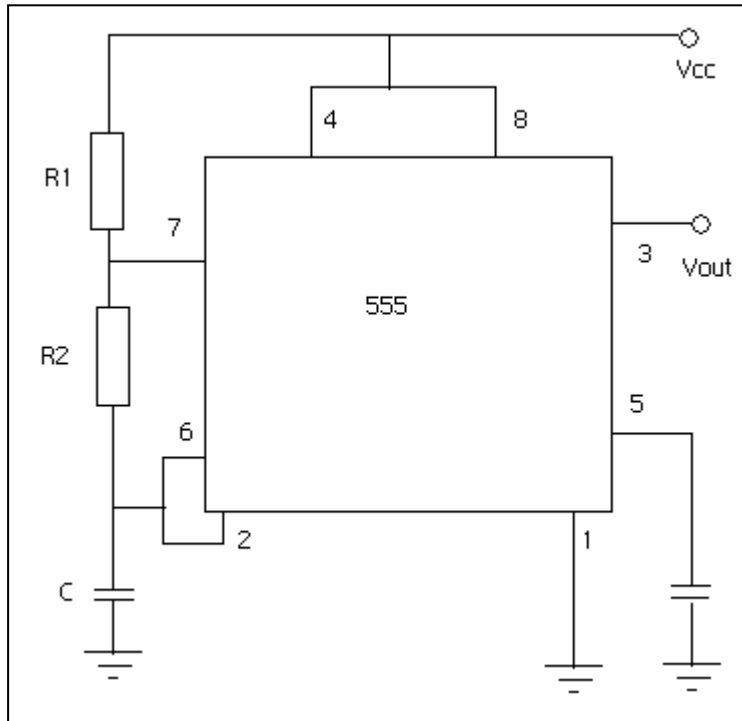
Nous avons donc finalement placé un appareil photographique argentique sur le côté de la nacelle.



Pour piloter l'appareil photographique nous avons conçu une carte électronique lui commandant de déclencher une photo à intervalles réguliers pendant la montée où le ballon est moins secoué qu'à la descente, ce qui nous assure que nous aurons l'occasion de photographier plus nettement la Terre.

Cette carte électronique est basée sur un temporisateur. Comme nous avons utilisé une pellicule de 36 poses, nous avons décidé que la prise de vue se ferait pour une temporisation de 90 secondes.

Nous avons décidé d'utiliser un NE 555 en multivibrateur astable, dans un montage convertisseur tension fréquence.

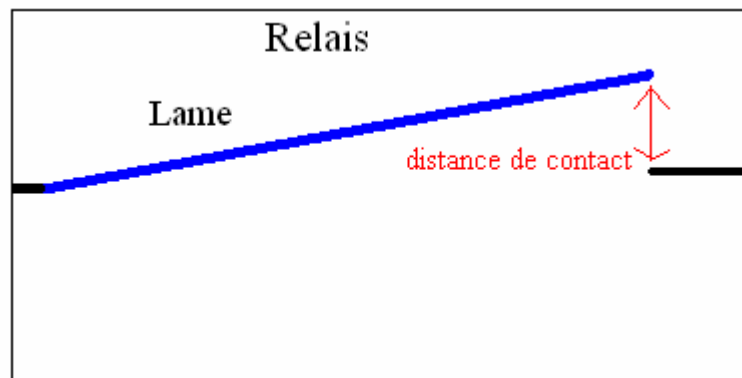


Les équations régissant le montage sont :

$$W = 0.693 (R1 + R2) * C$$
$$T = 0.693 (R1 + 2 R2) C$$

Avec un condensateur de 2200 μ F, nous avons choisi R1=4700 Ω et R2=50k Ω . Nous trouvons une période de 90.5s ce qui nous permet donc de couvrir le temps de la montée du ballon. Nous avons ensuite utilisé un relais en sortie de ce timer pour faire le contact sur l'appareil photo.

Cependant, à cause des fortes secousses probables imposées à la nacelle le relais pouvait se déclencher inopinément, car la lame qui permet le contact pouvait se déplacer.



ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur

Nous avons testé notre relais et le modèle que nous avons choisi ne s'étant pas déclenché par erreur, nous l'avons gardé.

4°) Résultat :

Nous attendons à ce jour, de récupérer la nacelle pour pouvoir conclure notre expérience.

II Expérience et Analyse annexe :

Dans cette partie, nous traiterons de l'expérience originale encore jamais réalisée en France, à savoir obtenir une photographie de l'éclatement du ballon. Nous traiterons aussi une étude annexe, qui nous permet d'obtenir l'altitude dans laquelle se trouve le ballon en fonction de la pression seule.

A) Détermination de l'altitude :

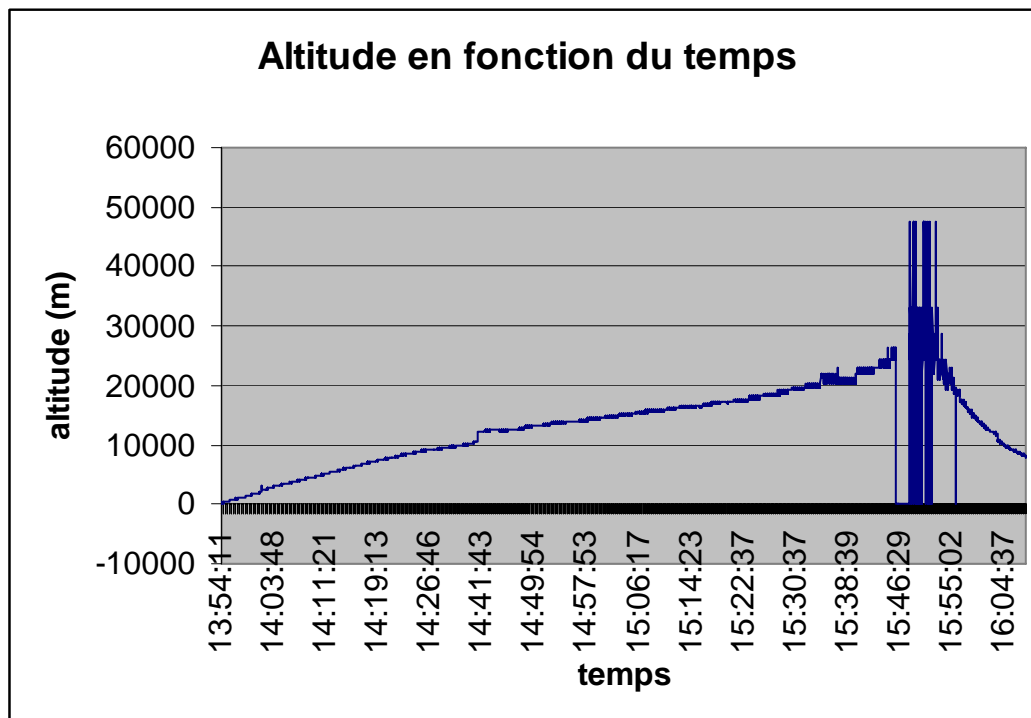
Nous avons choisi de mesurer indirectement l'altitude par l'intermédiaire de la mesure de pression. Le capteur Motorola nous fournit les mesures de pression les plus cohérentes, nous le choisissons donc.

Nous utiliserons les formules de l'altitude en fonction de la pression établies par l'aviation civile.

Les hypothèses relatives à ces équations sont :

- L'air est assimilé à un gaz parfait
- Equation de l'équilibre hydrostatique vérifiée : $dp = -\rho \cdot g \cdot dh$

On donne ci-dessous le graphe de l'altitude du ballon en fonction de l'avancement du lâché:



Au vu de la courbe, on voit que l'explosion du ballon se produit à environ 30 000 m d'altitude. Cette lecture n'est pas très précise au niveau de l'éclatement du ballon, ceci est dû aux imprécisions de la mesure de pression.

L'allure générale de la courbe est conforme à ce qu'on attendait au vu des mesures de pression. Le modèle choisi est donc bon.

B) Photographie de l'éclatement du ballon et de l'ouverture du parachute:

1°) Pistes explorées :

L'explosion du ballon et l'ouverture du parachute n'ont été observés que par un procédé de vidéo numérique. Les observer par un système moins onéreux constituait pour nous un challenge : d'où cette expérience.

2°) Problèmes rencontrés :

Deux aspects du problème étaient à considérer :

- Détecter l'explosion du ballon et l'ouverture du parachute, si possible par le même procédé.
- Commander le déclenchement d'une série de photos après la détection de chacun de ces deux événements.

En ce qui concerne la prise de photos, nous nous sommes orientés immédiatement vers une solution électronique qui nous paraissait la plus aisée et la mieux adaptée au problème. Nous n'avions en revanche aucune idée préalable de la solution permettant de détecter l'éclatement de l'enveloppe et l'ouverture du parachute.

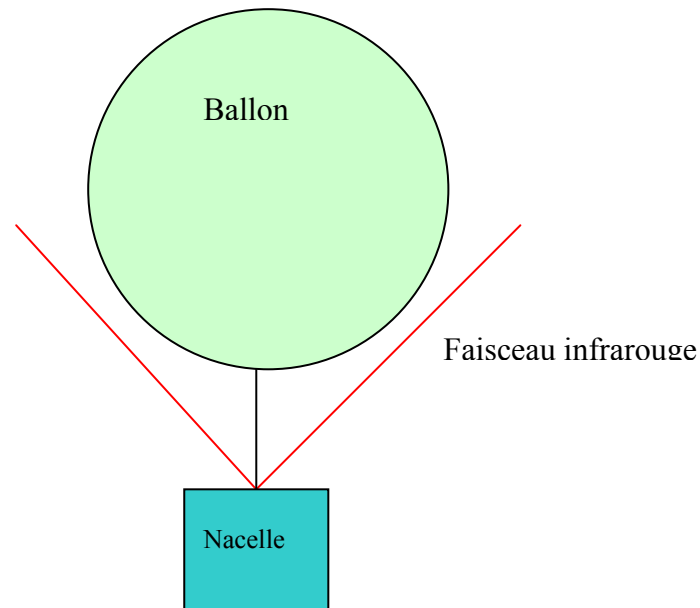
3°) Solution retenue :

a) Détection de l'explosion et de l'ouverture :

Pour mener à bien ce projet nous envisagé successivement plusieurs solutions technologiques :

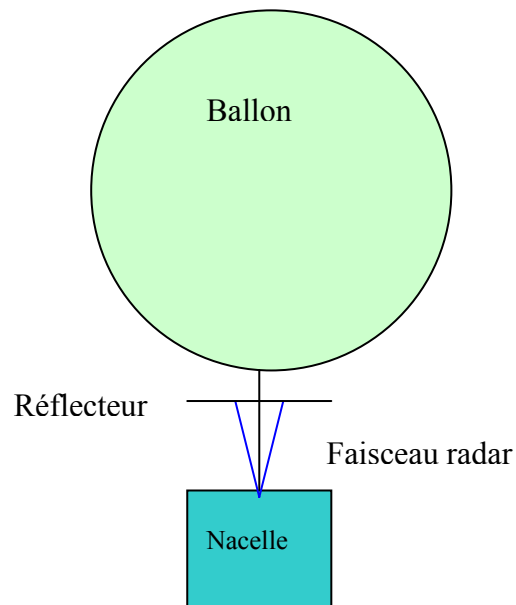
Nous avons au début pensé à utiliser le bruit produit par l'explosion du ballon pour déclencher la photo. Puis nous avons réfléchi si nous pouvions utiliser les infrarouges pour mesurer le diamètre du ballon.

Dispositif à infrarouge



Dispositif à émission radar

Il nous était aussi possible d'utiliser un réflecteur radar disposé sur le bas du ballon couplé à un émetteur.



PIT 1 Ballon ARTS
ARZEL Jérôme BERNARD Xavier BLANDIN-TARIS Jean-Maire
BOURDEL Laurent BRAHAM-BOUCHNAK Tarek CAMPION Thibaut
CUESTA Bertrand DE LAVENNE Arthur

Enfin il restait l'alternative du dispositif mécanique : lors de l'éclatement du ballon, la force ascensionnelle à laquelle est soumis le ballon durant toute sa montée se relâche soudain ; la tension des suspentes s'annule donc à ce moment ce qui peut être aisément détecté.

C'est cette dernière solution que nous avons retenue

Elimination des solutions non mécaniques

Nous avons choisi le dispositif mécanique car de toutes les autres solutions c'est la moins onéreuse, la plus simple à réaliser et la plus à même de résister aux importantes sollicitations mécaniques ainsi qu'aux variations de températures.

En effet les solutions par infrarouge et ondes radar font appel à un matériel en disproportion avec le budget de lancement du ballon sans compter les difficultés de mise en place.

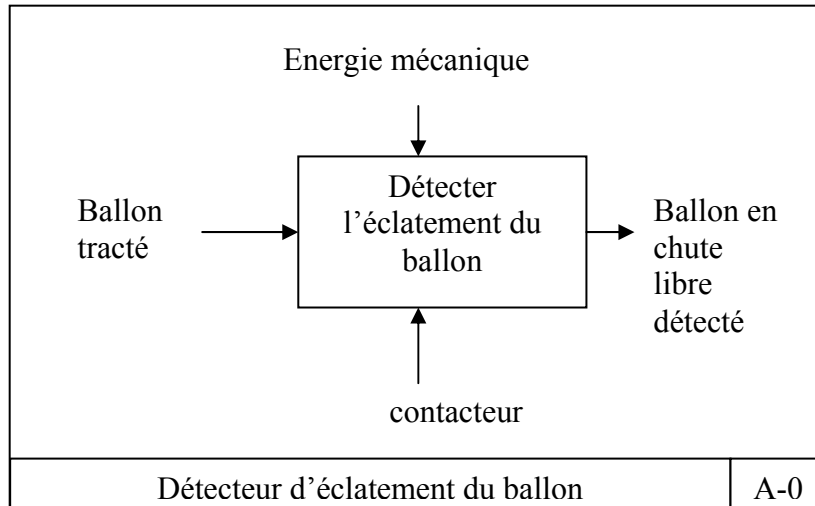
La solution de détection par le son est sujette à caution pour plusieurs raisons : d'abord on doit utiliser un micro qui ne soit pas détérioré pendant la montée. Ensuite le micro doit être suffisamment directionnel pour ne pas capter les bruits parasites dus au vent. De plus le pic de bruit doit être suffisamment net pour ne pas être considéré comme un artefact. Le traitement électronique doit être assez rapide

Mais l'élément décisif qui nous a définitivement poussé à renoncer au ballon est le mail que nous avons envoyé au responsable de Planète sciences qui nous a dissuadé de faire appel à ce moyen car l'explosion du ballon serait absolument inaudible avec une pression atmosphérique réduite

La solution mécanique s'est donc imposée d'elle-même pour répondre à ce cahier des charges.

Mais en quoi consiste-t-elle exactement ?

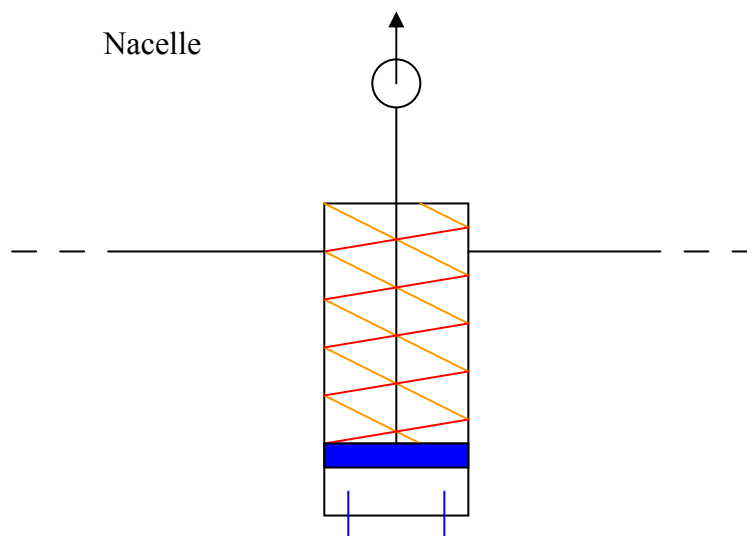
Analyse fonctionnelle.



Démarche

Dans la même optique que celle énoncée précédemment nous allons ici exposer notre démarche qui a présidé à la réalisation de notre contacteur.

Ce déclencheur est en fait un déclencheur à manque d'énergie. Lorsqu'il n'y a plus de force de traction, c'est-à-dire lorsque le ballon a explosé, il doit y avoir contact électrique. Lorsque de nouveau une force de traction réapparaît, donc que le parachute est ouvert, il n'y doit plus avoir contact. Le déclencheur sera donc fixé directement sur la nacelle et la partie mobile sera reliée au parachute selon le schéma suivant :



Pour cela, il faut dimensionner le ressort pour que le retour du capteur soit rapide et pour que, lors de la présence d'une force, la plaque métallique située à l'extrémité de la partie mobile soit loin des deux pions de contact.

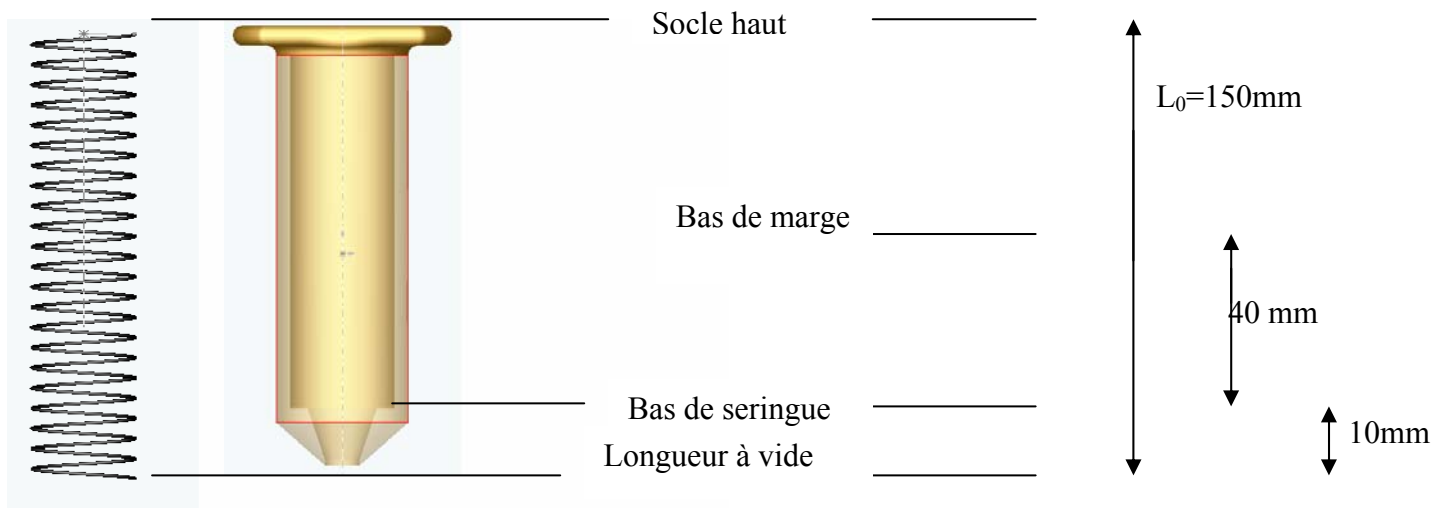
Toute la difficulté résulte dans le fait qu'il existe des à-coups lors de l'ascension du ballon. L'appareil photo ne doit pas en effet se déclencher comme si c'était l'éclatement du ballon.

- calcul de la raideur du ressort :

On suppose que la masse de la nacelle est 2 kg (c'est la moyenne des nacelles lancées). Comme cette dernière peut atteindre 2,5 kg on prendra une marge de sécurité lors des calculs. On se laisse donc une marge de 40mm entre le contacteur et la tige de vérin.

Lorsque que le ballon va se trouver dans un trou d'air, les perturbations vont faire diminuer le poids relatif.

Pour avoir une marge assez importante, on considèrera $P_{min\ rel}=1Kg$.



La longueur à vide du ressort a volontairement été prise supérieure à la longueur de la seringue. Cela en effet permet d'être sûr qu'il y ait contact et augmente la rapidité du déclencheur.

Le calcul théorique d'après le PFS nous donne :

$$k \approx \frac{15N}{5cm} \approx 300N.m^{-1}$$

Après une recherche sur plusieurs catalogues de fournisseurs, il apparaît que le ressort défini avec les conditions suivantes n'existe pas.

Sachant que $L_0 = 150mm$ et $k=300N/m$ et que $D_{moy}=20mm$ pour pouvoir rentrer dans la seringue il apparaît que l'on doit créer nous même ce ressort. Le diamètre de fil et le nombre de spire est donné par :

ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3n}$$

Nous choisissons donc de fixer n à 25 spires ce qui donne d=0.9mm.

- fabrication de la solution :

Ressort :

Nous achetons de la corde à piano de 0.9 pour réaliser le ressort. Afin d'obtenir un diamètre égal à 20mm nous sommes allés demander à M. Chaplier, professeur de modelage, de réaliser un tube plein en bois de diamètre 20 et de longueur 2000.

Notre première erreur a consisté à avoir omis l'élasticité de la déformation du fil après l'avoir enroulé autour du morceau de bois : il apparaît que notre ressort n'est pas cylindrique et même pas de diamètre 20.

Suite à cette erreur et au manque d'information pour la réalisation de ce ressort, nous avons décidé d'avoir une démarche d'entreprise. Nous avons contacté l'entreprise **REM RESSORTS** à Angers qui fabrique des ressorts à froid. Cette dernière nous a renseigné sur la fabrication des ressorts par une visite guidée de l'entreprise. Elle nous a proposé de réaliser sans frais le ressort afin d'obtenir exactement ce qu'il nous fallait.

Nous avons posé notre cahier des charges avec nos différentes conditions. Lors de l'étude théorique du ressort il nous est apparu que pour qu'un ressort prenne forme, il faut qu'il soit recuit. Par ailleurs, il faut utiliser du fil spécial (ce qui n'était pas notre cas). 2 semaines plus tard, nous avons donc reçu 2 ressorts répondant à notre CDCF.

Tige de ressort :

Pour faire rentrer le ressort dans la seringue avec la tige, il faut réduire le diamètre de la tige tout en gardant une surface lisse pour permettre un très bon glissement. La seringue étant en *polypropylène*, une découpe au cutter n'est pas envisageable et une fusion du plastique non plus.

Nous avons privilégié la méthode du fraisage de toutes les parties du croisillon. Nous avons calculé une vitesse de coupe ainsi que la taille de la fraise à utiliser. Nous avons donc réduit le diamètre de la tige à 19mm. Ainsi la tige permet de guider le ressort et d'éviter son flambement.

Fixation de la corde :

Pour cela, nous avons décidé de réduire la partie haute de la tige et de percer un trou dans le croisillon.

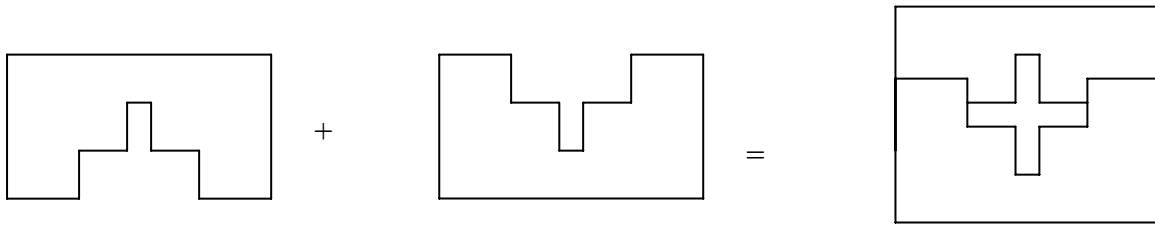
Maintien du ressort :

Il faut mettre un système pour bloquer le ressort et donc fermer le piston. La difficulté réside dans le fait qu'il faille découper une plaque de métal en croix. Devant l'incapacité de cette réalisation nous avons utilisé le système suivant

ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

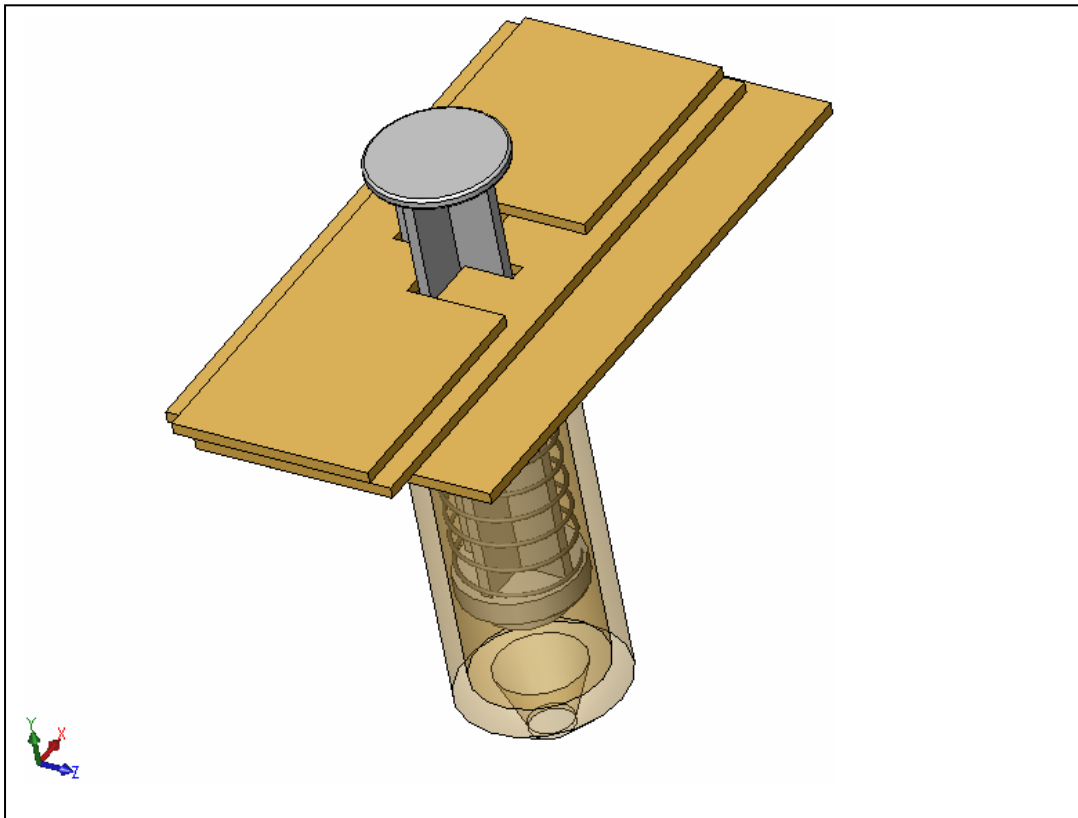
BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur

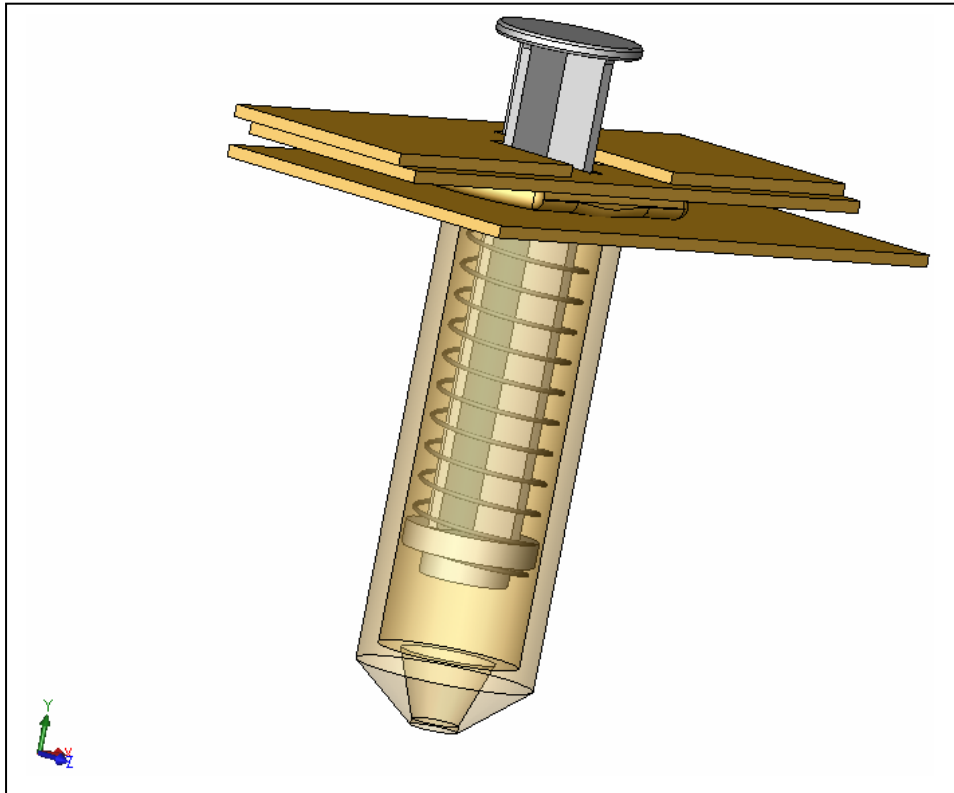


La réalisation se termine par le pliage des parties qui dépassent sur les plaques ci dessus.

- Fixation du système à la nacelle :

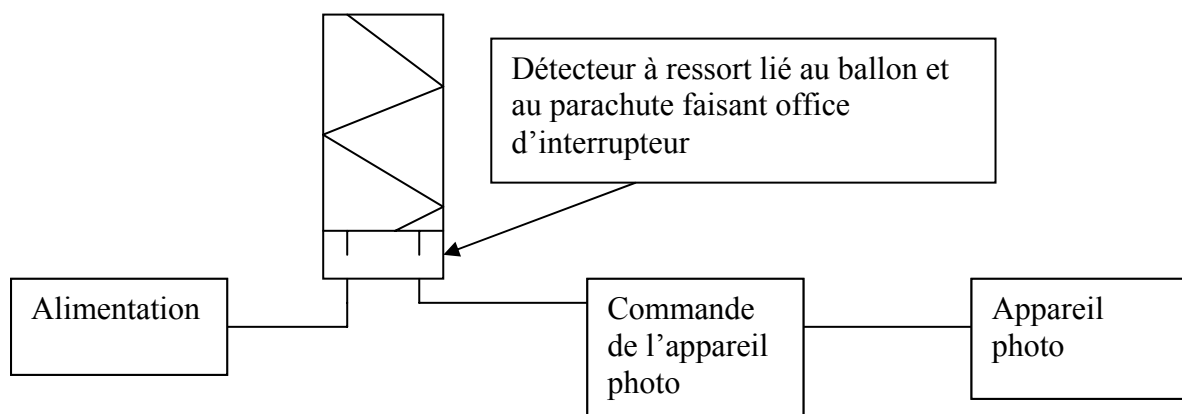
Il n'est pas possible de relier directement, sans aucune autre ficelle de maintien, la nacelle et le parachute par le piston. Nous avons donc adopté la solution la plus simple afin de pallier ce problème : la nacelle sera raccrochée à 4 ficelles de secours telles qu'elles n'interviennent que si le piston se casse. Il faudra donc au moment voulu approcher la longueur de ces fils de sécurité.



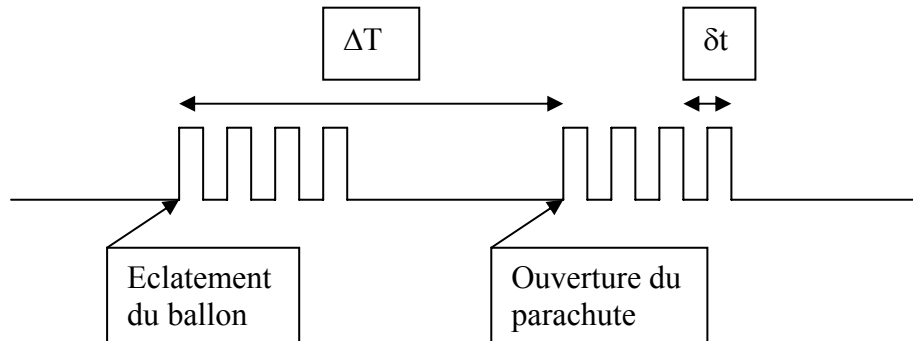


b) Commande de l'appareil photo :

Le problème se présente de la manière suivante : après le contact au niveau du ressort ainsi qu'au moment de la disparition de ce contact, il nous faut pouvoir déclencher une série de photos. Le principe de base est décrit par le schéma suivant :



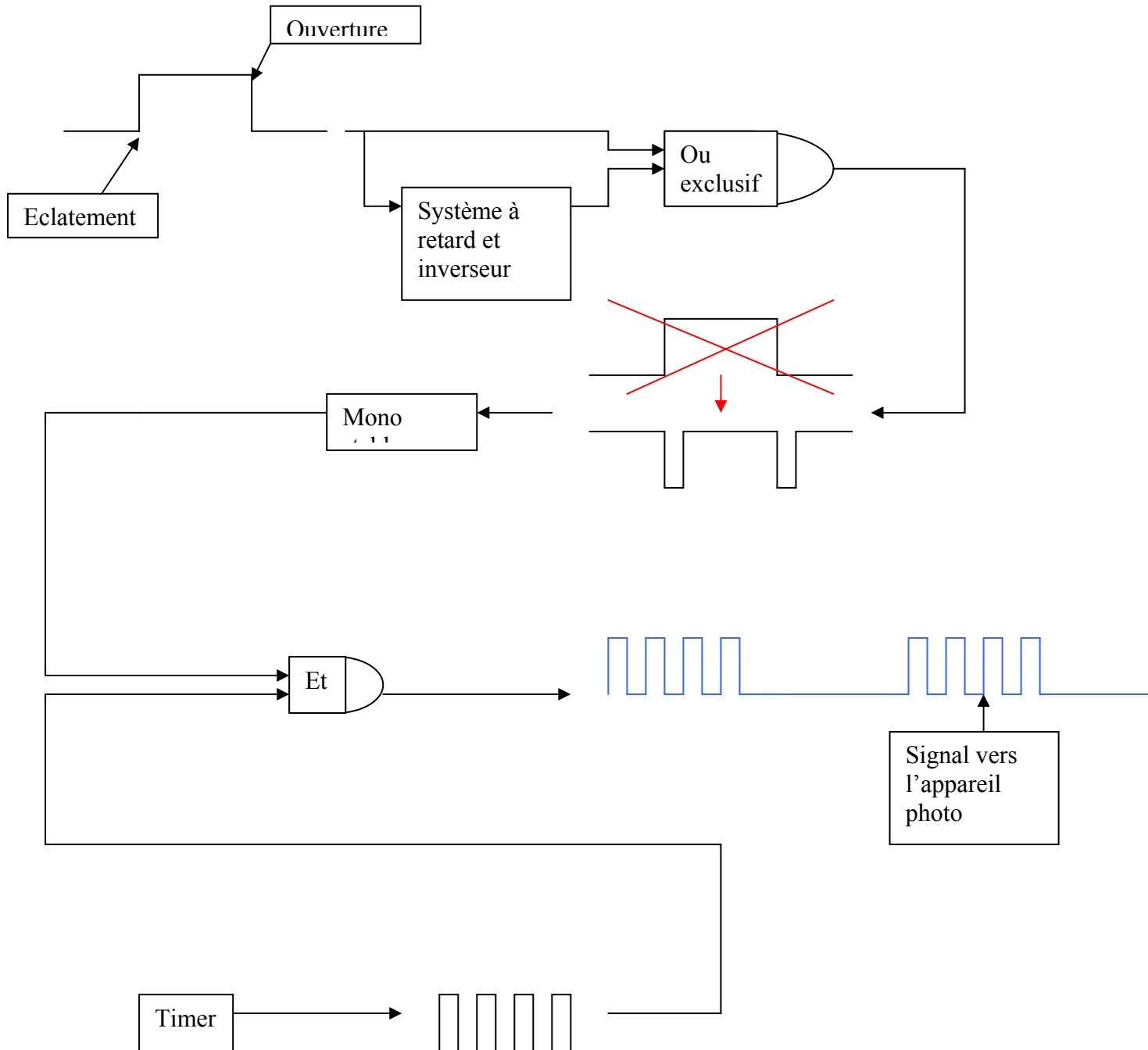
Nous allons à présent détailler la commande de l'appareil photo. Le signal final désiré est le suivant :



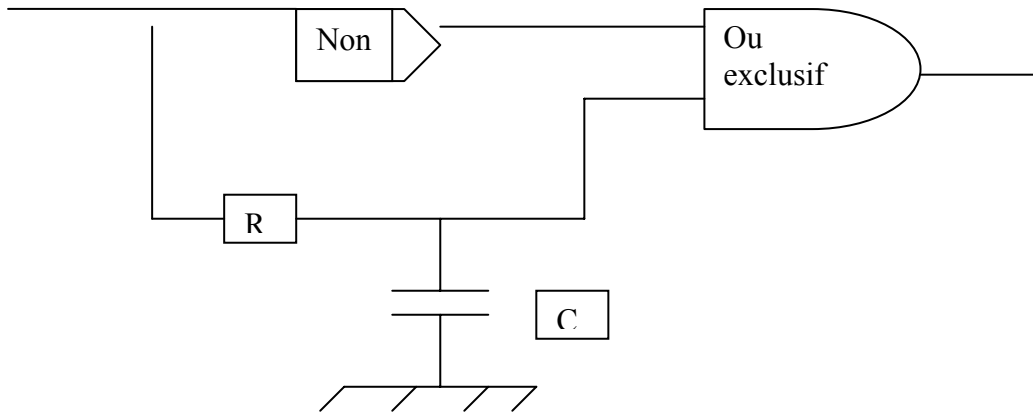
Chaque créneau déclenche une photo. ΔT est au minimum de 10 secondes. La période du signal haute fréquence δt doit être supérieure au temps de prise et de rembobinage de l'appareil photo (2.7 secondes dans notre cas).

Autant il est aisé de générer un signal périodique haute fréquence, autant il est compliqué de le transmettre aux moments souhaités. Nous avons donc opté pour un Timer qui génère un signal carré périodique haute fréquence commandée par un mono stable relié au détecteur à ressort. Le mono stable n'est déclenché que par des fronts descendants générés au moyen d'un système à retard et d'une cellule ou exclusif.

Le système retenu est le suivant :



Le principal problème rencontré a été celui du système à retard. La première solution envisagée consistait à utiliser trois cellules non en série. En jouant sur les défauts de ces cellules et des retards qu'elles induisent, on pouvait espérer obtenir les fronts descendants désirés. Toutefois les cellules non disponibles étaient de « trop bonne qualité » et ne généraient pas le retard attendu. Nous nous sommes donc reportés sur un système à base de cellule non et d'un dipôle R, C, dont voici le schéma :



Les schémas des mono stables et astables sont donnés ci-dessous :

timer

$W = 0,693(R_1 + R_2)C$
 $T = 0,693(R_1 + 2R_2)C$
 $R_1 = 180 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 120 \text{ k}\Omega$
 $C = 10 \text{ nF}$
 $W \approx 2,1 \text{ s}$
 $T \approx 2,9 \text{ s}$

monostable

$W = 1,1RC$
 $C = 10 \text{ nF}$
 $R = 3,3 \text{ k}\Omega$
 $W = 36,3 \text{ }\mu\text{s}$

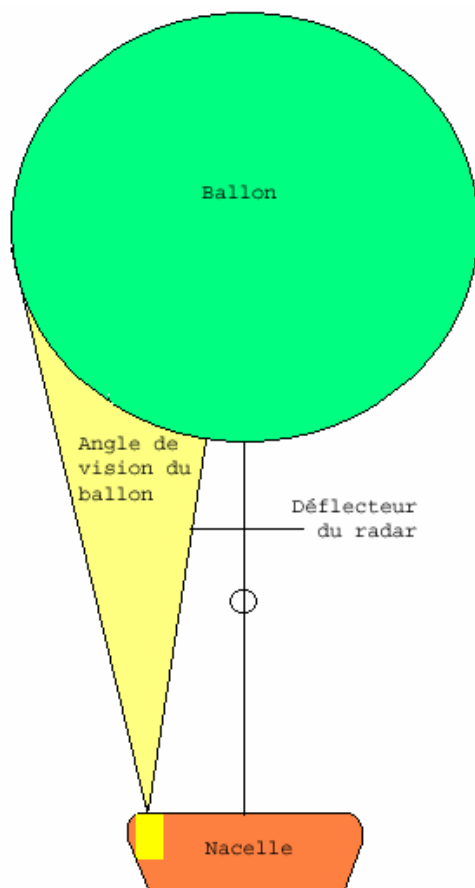
c) Conclusion :

Pendant les essais nous obtenions deux séries de 12 photos déclenchées à la simulation de l'explosion et de l'ouverture.

C| Composition et forme de la Nacelle:

1°) Une forme originale :

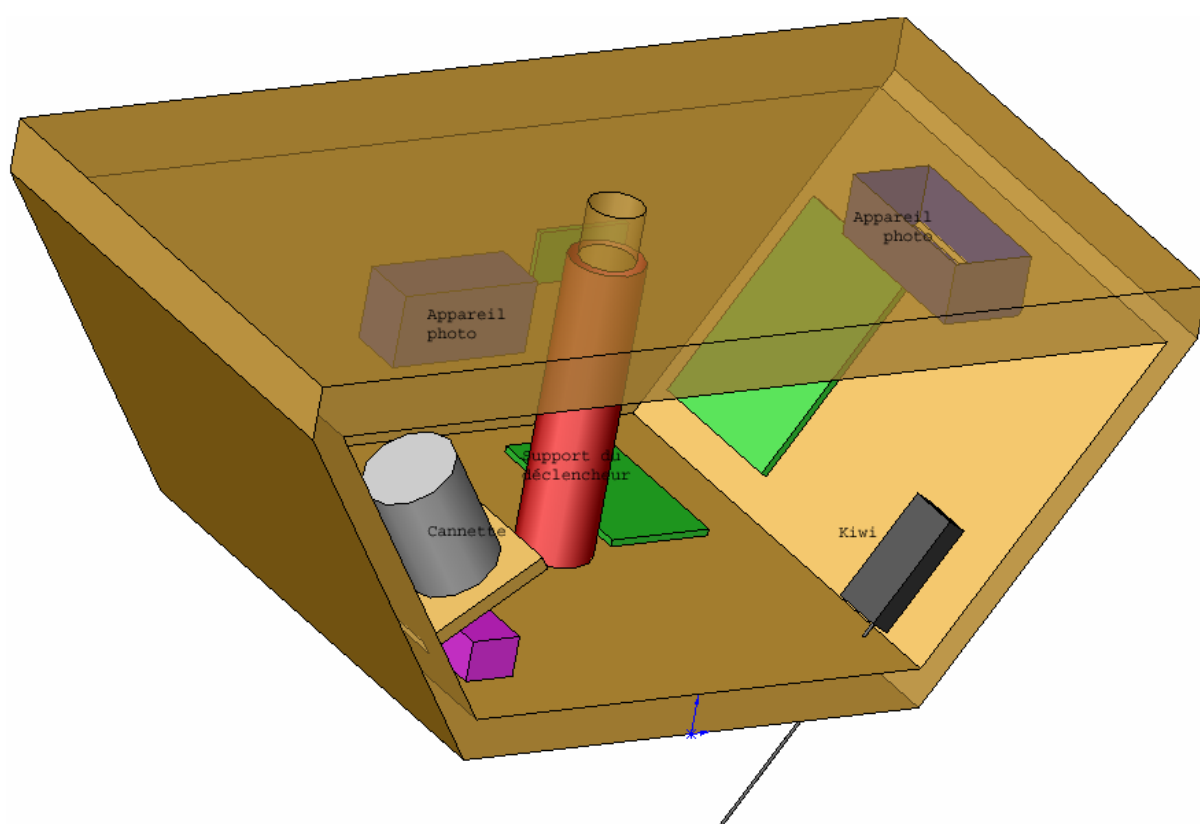
Nous avons choisi une forme de nacelle qui soit à la fois harmonieuse et solide et surtout qui réponde à notre objectif de prise de photographie de l'éclatement du ballon. En effet pour pouvoir prendre une photographie du ballon lors de son éclatement qui ne soit pas masquée par le déflecteur radar placé entre le ballon et la nacelle, il fallait que sa longueur soit maximale, donc soit rectangulaire.



ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

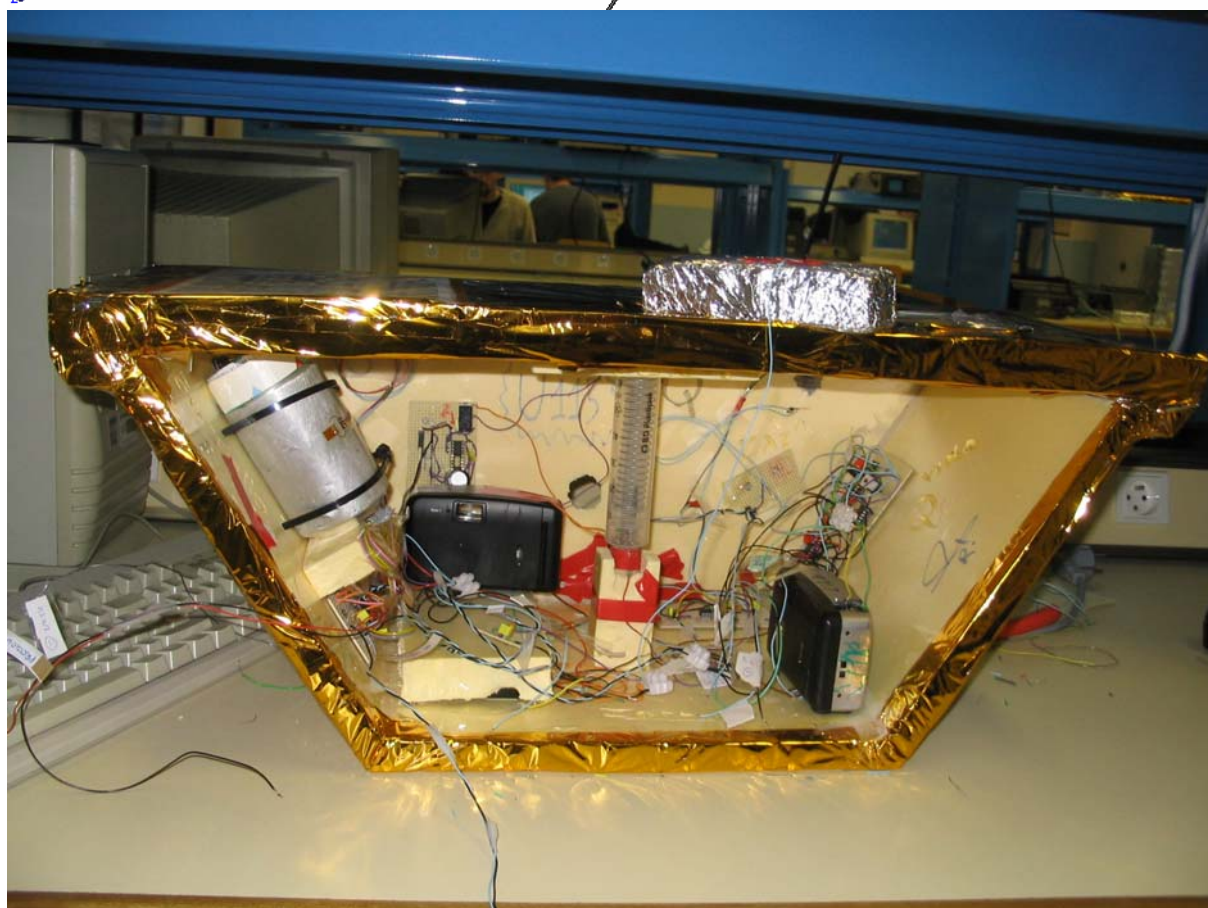
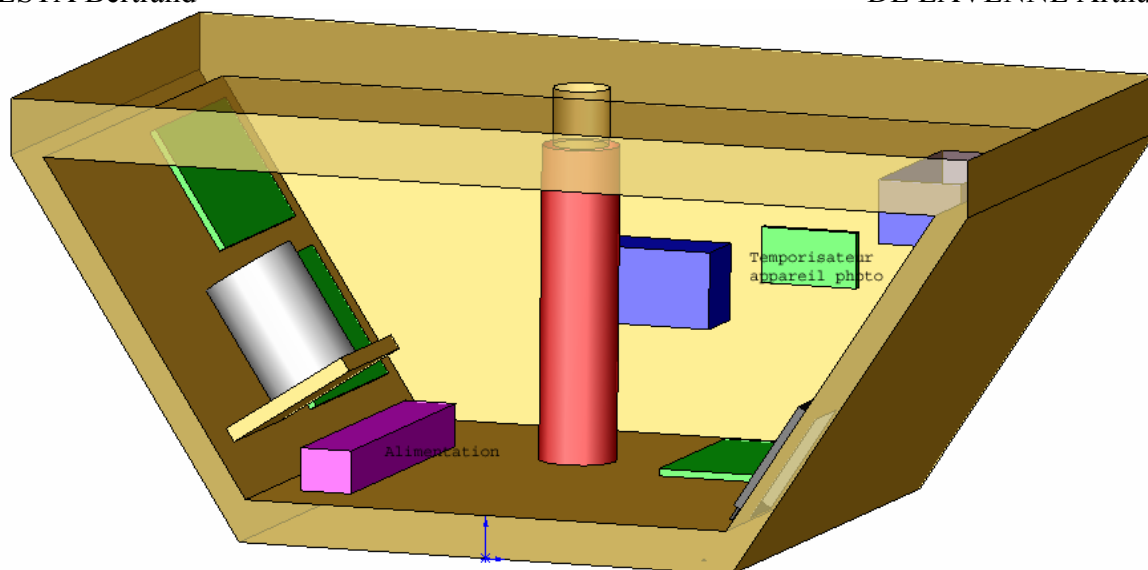
BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur



ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

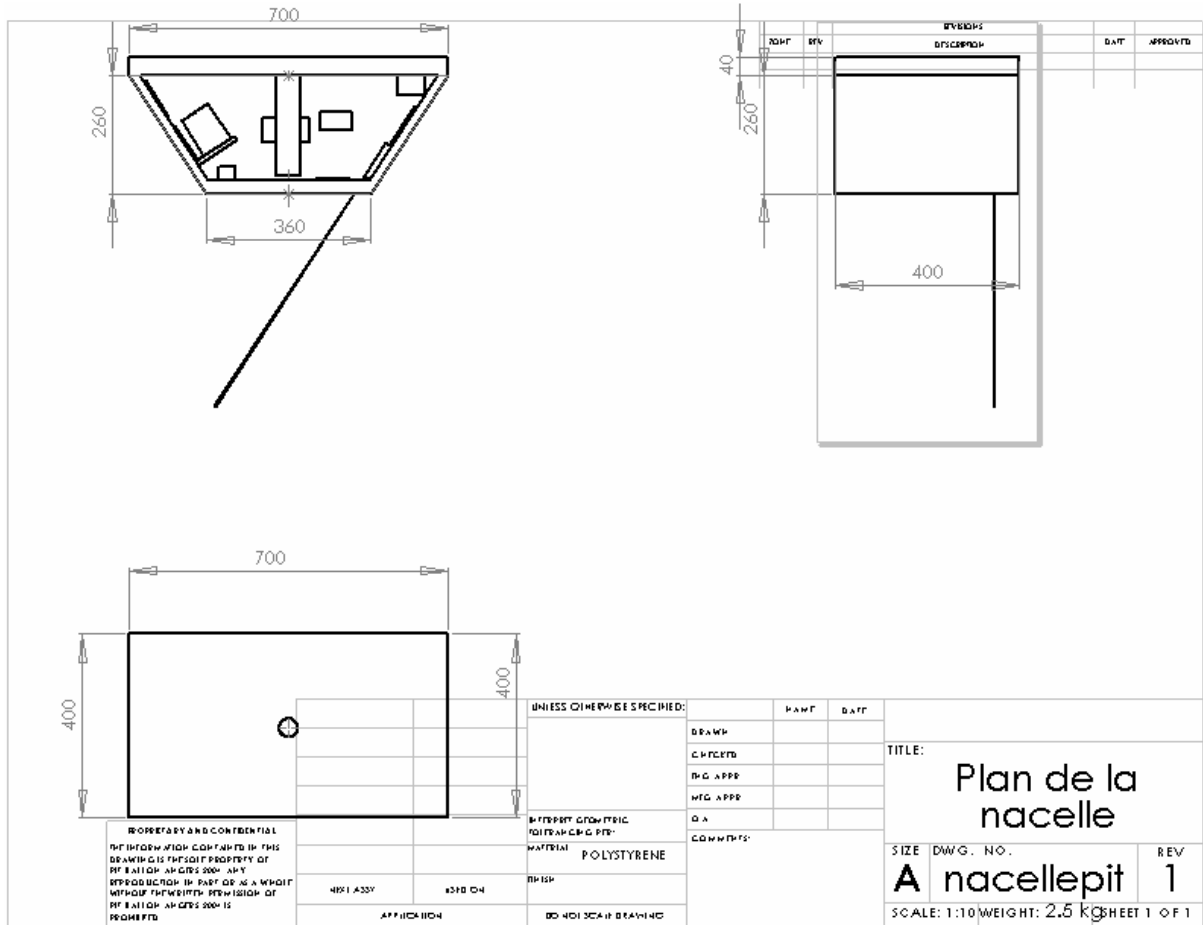
BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur



ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur



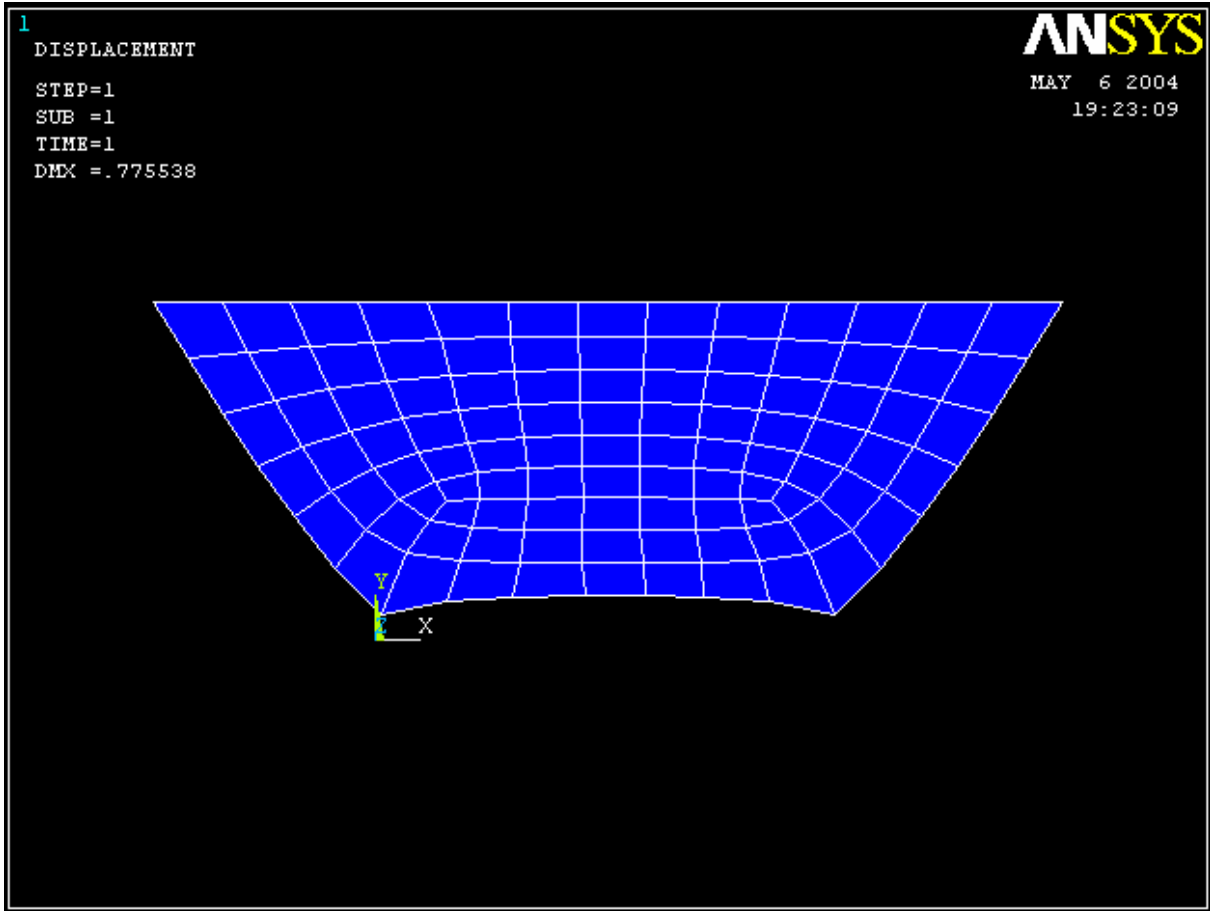
2°) Démarche de construction

Pour gagner du poids et augmenter la résistance de la nacelle lors de son atterrissage nous avons donc opté pour une forme trapézoïdale sur l'autre plan.

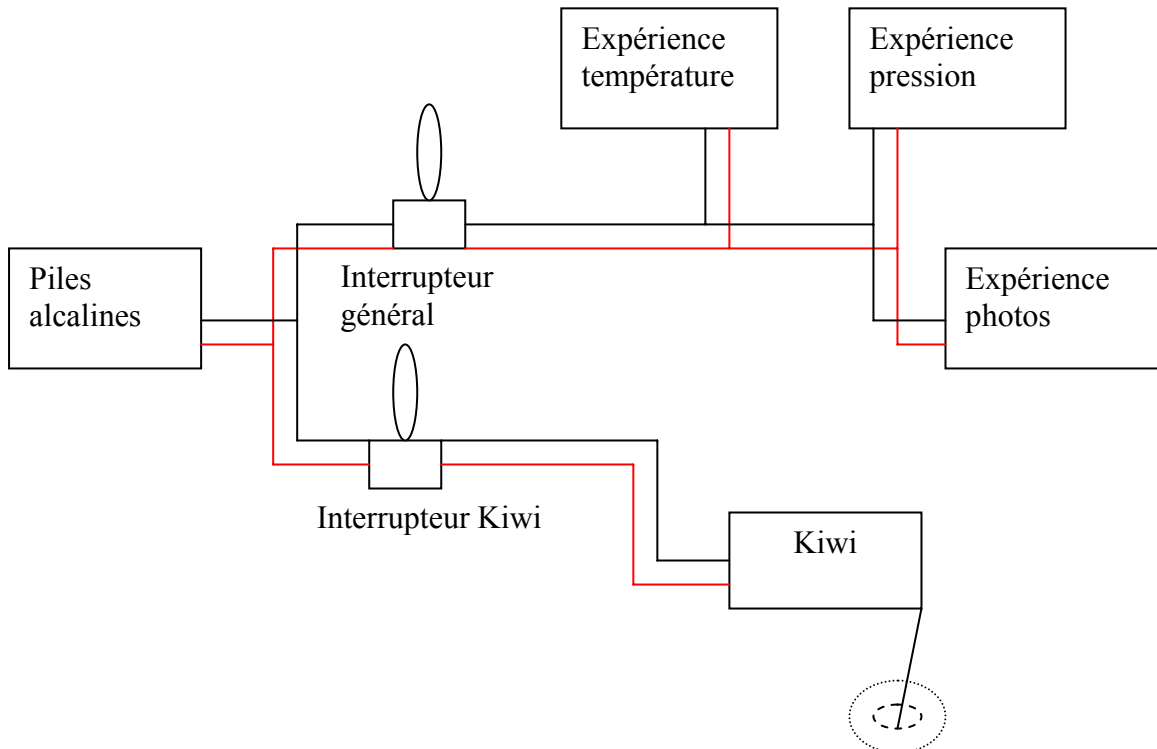
Nous avons acheté des plaques de polystyrène de 4mm d'épaisseur. Pour les assembler nous avons décidé d'utiliser de la colle. Mais le poids de la nacelle étant légèrement supérieur, nous avons donc décidé d'amincir les parois de la nacelle à 2.5 mm, ce qui n'a d'ailleurs pas été sans mal à cause des difficultés.

Une étude qualitative a montré que la rigidité structurelle de la nacelle était suffisante pour supporter les contraintes issues des secousses dues aux trous d'air ainsi que celle de l'atterrissage.

En considérant que le choc d'arrivée équivaut à une pression momentanée de 20MPa sur le bas de la nacelle, la modélisation sur ANSYS 8.0 montre que la déformation maximale de la nacelle est assez réduite malgré le faible module de Young du polystyrène (3 GPa).



3°) Schéma électrique



ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur

Pour éviter tout problème sur l'alimentation du Kiwi nous lui avons dédié un circuit d'alimentation indépendant ce qui permet de s'assurer que l'émission des télémessures n'est pas interrompue. Chaque expérience à son système d'acquisition de sa tension d'entrée. Deux fils entrent dans chaque carte et sont branchés sur les interrupteurs.

Dans cette nacelle que nous avons donc conçue, nous pouvons donc héberger toutes les expériences et permettre aussi bien la transmission des données issues des expériences de température de pression et de température grâce à la télémessure que protéger les appareils photos pour permettre de récupérer les photographies de la terre et de l'éclatement du ballon.

Nous attendons donc de récupérer la nacelle pour voir si elle a bien satisfait le cahier des charges que nous nous étions imposés.

ARZEL Jérôme
BOURDEL Laurent
CUESTA Bertrand

PIT 1 Ballon ARTS
BERNARD Xavier
BRAHAM-BOUCHNAK Tarek

BLANDIN-TARIS Jean-Maire
CAMPION Thibaut
DE LAVENNE Arthur

CONCLUSION GENERALE :

Nous avons finalement lâché notre ballon le 31.03.04 lors du conseil d'administration de l'ENSAM.

La plupart de nos expériences ont partiellement ou totalement fonctionné. Cette expérience enrichissante nous a permis de travailler en groupe ainsi que de réaliser un premier projet avec des contraintes assez fortes. De ce fait, nous avons pu utiliser presque la totalité du matériel disponible au CER d'Angers de l'usinage à l'électronique en passant par la déformation plastique et la mécanique. Nous avons aussi travaillé avec l'extérieur lorsqu'il n'était pas possible de faire autrement.

Ce PIT regroupe l'ensemble des découvertes qu'on pouvait attendre à travers lui.

Nous remercions Poiron Jacques, Guy Reucheurant, Monsieur Badie-Levet, et tous les techniciens qui nous ont aidés pendant la réalisation de notre projet ainsi que l'entreprise REM RESSORT qui nous a fourni des ressorts sur mesure gratuitement.