

PIT

Ballon Sonde

Professeur : M.Malassé

Elèves : Pérot, Havette, Hingray, Gurken, Garet, Mairel, Hilbert, Kayser

Sommaire

I. Choix des objectifs, recherche et limites du projet.....	1
A. Objectifs.....	1
B. Limites du projet.....	1
C. Annonce des solutions retenues.....	2
D. Solution abandonnée.....	3
II. Elaboration des composants.....	6
A. Système de prise de photos.....	6
1. Le choix.....	6
2. Le déclenchement.....	7
3. La nacelle inférieure.....	7
B. Système de largage.....	9
1. Situation du système de largage.....	9
2. Les divers procédés de largages.....	9
3. Le système de largage que nous avons choisi.....	12
C. Mesure de température.....	14
1. Choix du capteur de température.....	14
2. L'interface du capteur de température.....	15
D. Mesure de pression.....	17
1. Capteur de pression.....	17
2. Circuit associé au capteur de pression.....	18
3. Réalisation du conditionneur.....	19
E. Système d'échantillonnage d'air.....	23
1. Situation du système d'échantillonnage.....	23
2. Les divers procédés d'échantillonnage.....	23
3. Système choisi : par aspiration.....	24
4. Le système de déclenchement.....	25
5. Quelques problèmes rencontrés.....	26
6. Au final.....	26
F. Nacelle.....	27
1. Deux nacelles.....	27
2. La forme et les dimensions des nacelles.....	27
3. Fixation des composants dans les nacelles.....	28
4. Les nacelles finies.....	29
5. La chaîne de vol.....	29
G. Le modèle atmosphérique.....	29
1. Modèle de température.....	30
2. Modèle de pression.....	31
H. L'anémomètre.....	32
1. Intérêt.....	32
2. Mesure de la vitesse du vent à altitudes variables.....	33
3. Convertir l'information en signal électrique.....	34
4. Transmettre l'information.....	34
5. Assemblage et conclusion.....	34
III. Résultats.....	36
A. Résultats obtenus par le Kiwi.....	36
B. Résultats obtenus par prise de photos.....	36
IV. Conclusion.....	38

I. Choix des objectifs

Le projet qui nous a été attribué est le lancement d'un ballon sonde. Le but d'un ballon sonde est de partir dans l'atmosphère, et à l'aide de capteur d'analyser divers paramètres de l'atmosphère. Pour choisir au mieux ces expériences, il est nécessaire de bâtir un modèle numérique de l'atmosphère pour la pression et la température.

Dans la première partie, nous présenterons les différents objectifs que nous nous sommes fixés, mais aussi les limites et les différents problèmes rencontrés lors de la réalisation de la nacelle, et aussi la modélisation de l'atmosphère.

Ensuite, nous développerons les différentes expériences que nous avons choisies, en donnant la méthode de construction, l'explication du choix des composants...

A. Objectifs

Les premiers objectifs ont été fixés dès le workshop à Lille, c'est à Lille que nous avons tous réfléchi sur une liste d'expériences qui paraissaient intéressantes.

Ceci a eu pour but de nous montrer combien il est difficile de choisir les expériences que nous allons effectivement réaliser. Car différents problèmes se sont posés, est-ce qu'il est possible de réaliser toutes ces expériences, devons-nous reprendre des expériences déjà réalisés par le passé, en inventé de nouvelles. Et en même, il fallait veiller que les expériences choisies.

Se fixer des objectifs est aussi de suivre le cahier des charges, prendre en compte le budget mis à notre disposition, les connaissances de chacun, et de regarder l'aspect travail en groupe qui peut parfois être difficile à gérer.

Ainsi cette première liste d'expérience, nous a permis de voir les limites du projet et ces difficultés.

B. Limites du projet

Pendant les premières semaines de travail, certaines expériences nous ont paru indispensable, comme la prise de température, de pression et le choix de la transmission par KIWI qui nous était imposé. Car de plus, ces expériences ont un réel but pour découvrir comment se comporte l'atmosphère en fonction de l'altitude.

Cependant pour certaines expériences, nous avons rencontré plus de problèmes ; nous avons beaucoup réfléchi sur la possibilité de suivre le ballon par GPS, de connaître la direction du vent, d'observer la variation des champs électro-magnétique. Il a donc fallu restreindre les objectifs de chacun pour que toutes les expériences réalisées soient compatibles avec notre budget et nos connaissances.

Pendant le semestre, chaque membre du groupe était à disposition pour chaque expérience. Mais il y avait une personne chargée de mener à bien la réalisation pour chaque partie de la nacelle.

Pour mener à bien ce projet, il a fallu vérifier plusieurs points :

- Vérifier le respect du cahier des charges
- Gérer les contacts avec l'ANSTJ
- Ne pas dépasser le budget...
-

L'intégration des contraintes du lancement

Une fois le travail commencé, il était nécessaire pour chaque expérience de vérifier les exigences de l'ANSTJ

- Une nacelle de 3kg ou 2 nacelles, 1 de moins de 2kg et l'autre de moins de 1kg
- Aucun coin ne pouvant blesser une personne ou endommager un appareil
- Aucun produit chimique à bord de la nacelle
- Pas d'animaux

L'intégration des contraintes de vol

Tous les composants à bord de la nacelle seront soumis à de fortes températures négatives (-60°C), il faut donc prévoir des composants dont les caractéristiques ne chutent pas trop avec la baisse de température. Lors du décollage, la nacelle est chahutée, et si des composants sont mal fixés il pourrait se déconnecter, c'est pour cela qu'il faut une construction assez solides de tous les composants.

C. Les solutions retenues

A la suite de ces différentes considérations, les différentes solutions retenues sont :

- Choix d'une double nacelle
- Système de largage de la 2^{ème} nacelle
- Couverture de survie pour l'isolement
- Système de prise de photos automatique
- Système de prise d'air
- Mesure de la vitesse du vent

D. Une expérience abandonnée : mesure de la direction du vent

Au début de la phase de réalisation technique des expériences, une d'entre elles s'est avérée être trop difficile à mettre en œuvre. Dans un premier temps sera présenté le travail qui avait déjà été accompli, depuis premiers choix jusqu'à la conception de l'expérience. Ensuite, on étudiera les causes de l'abandon de cette expérience.

1. Objectif de l'expérience

- Comparer nos mesures aux prévisions météorologiques du jour
- Coupler la mesure de direction avec celle de la vitesse du vent pour avoir une estimation de la position de la nacelle

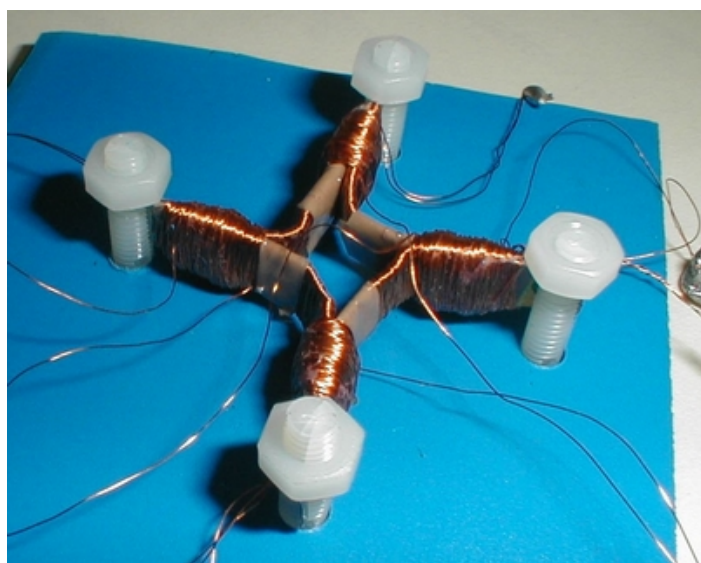
2. Réalisation

- Boussole électronique
- Girouette

3. Les solutions envisagées

a. Système fluxgate

Le principe du fluxgate est le suivant : plaçons un barreau de ferrite Est-Ouest, il est perpendiculaire au champ magnétique terrestre. Quelques spires de fil enroulées sur le barreau sont alimentées par un oscillateur sinusoïdal en moyenne fréquence. Une autre bobine identique, sur ce barreau, sert de récepteur. Le signal reçu sur la bobine de réception est une sinusoïde identique à celle émise, à l'hystérésis près. Si le champ d'émission augmente, la ferrite sature et la sinusoïde reçue commence à s'aplatir symétriquement. En approchant un aimant d'une extrémité du barreau la saturation change, une alternance est plus saturée que



l'autre. Même effet en tournant le barreau, le champ terrestre déforme le signal reçu. Il est donc possible de trouver la direction Nord-Sud, au moment où la sinusoïde reçue est la plus dissymétrique.

Un seul barreau permet de déterminer l'écart au Nord (0 à 180 °) mais pas le sens E ou W. Si l'on monte deux barreaux identiques perpendiculaires, l'analyse des deux signaux permet de déterminer le cap magnétique de manière statique en levant l'incertitude.

Dans la pratique, on obtient 2 signaux analogiques, les cosinus et sinus formés par l'angle entre le dispositif et le champ terrestre.

Il faut ensuite un circuit pour le traitement de ces 2 signaux.

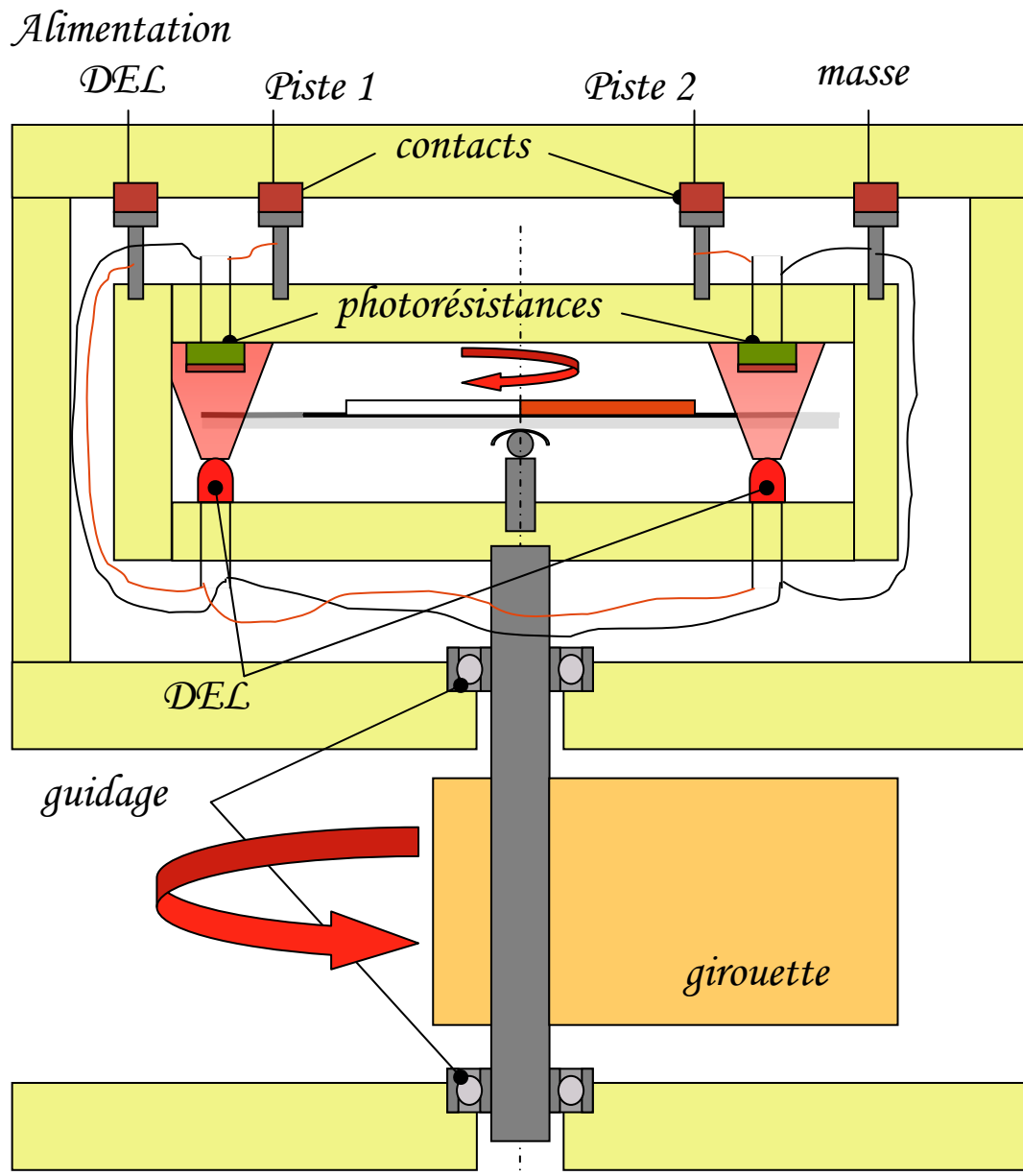
Obstacles rencontrés :

- difficulté pour se procurer de la ferrite
- difficulté pour le traitement du signal

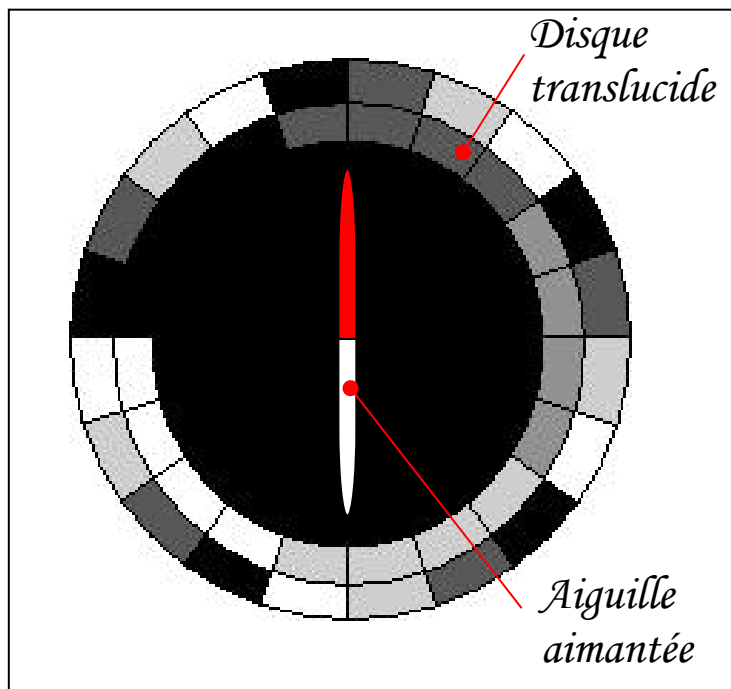
Conclusion : solution rejetée

b. Codeur optique

Le codeur envisagé était un codeur absolu. Il nous aurait permis une précision de l'ordre de 4° à 5° .



Au centre du dispositif, on a un disque translucide sur lequel est collée une aiguille aimantée. Cette ensemble est en liaison pivot avec la nacelle est la girouette.



En liaison fixe avec la girouette, on a 2 diodes et 2 photorésistances qui repèrent la position du disque par rapport à la girouette car les différentes teintes de gris font varier la résistance des photorésistances. On obtient ainsi l'angle entre la direction du vent est le Nord magnétique

Avec 8 teintes différentes, on obtient une précision proche $5^{\circ}6'$.

Les raccordements électriques pour les diodes et les photorésistances entre l'ensemble girouette et la nacelle

sont assurés par des contacts frottants sur 4 pistes circulaires.

Un traitement électronique est ensuite nécessaire pour obtenir des tensions images des résistances et que ces tensions soient adaptées à l'émetteur Kiwi.

Obstacles rencontrés :

- Problème dans la liaison ponctuelle avec le disque
- Difficulté dans la conception du traitement électronique
- Volume occupé par la boussole et la girouette

Conclusion : solution rejetée

4. Causes de l'abandon

Bien que cette expérience ait dans un premier temps été retenue, nous l'avons ensuite définitivement abandonnée car les solutions envisagées étaient trop difficiles à mettre en œuvre.

De plus, l'abandon permet un gain de place et de poids au profit des autres expériences.

II. Elaboration des composants

A. Système de prise de photos

L'idée de départ était de prendre des photos en haute altitude de la rotondité de la Terre. Pour cela, plusieurs possibilités s'offraient à nous :

- Prise de photos par appareil jetable
- Prise de photos par appareil automatique
- Prise de photos par appareil numérique

1. Le choix

L'appareil photo numérique présentait l'avantage de nous fournir des photos en temps direct grâce à l'émetteur Kiwi, tandis que l'appareil photo automatique était plus facile à mettre en œuvre et que l'appareil photo jetable était économique.

Pour effectuer notre choix, nous nous sommes tout d'abord intéressés aux possibilités de transmission de l'émetteur Kiwi. En effet la transmission de photos prises par l'appareil numérique était possible uniquement par multiplexage de voies de l'émetteur, posant alors le problème du nombre de voies restantes pour les autres données issues des différents capteurs.

De plus le format de compression des images de l'appareil photo étant du "jpg", le risque de recevoir des écrans noirs était grand. L'envoi d'images en "Bitmap" pouvant résoudre ce problème en amenait un autre : celui d'attendre de longues minutes, voire d'heures, avant de recevoir une seule image. Enfin le coût d'un appareil photo numérique représentait une dépense importante pouvant peser lourd dans notre budget.

C'est pourquoi, suite à ces différentes observations, nous avons décidé de ne pas retenir la solution de l'appareil photo numérique.

Restait alors à choisir entre les deux autres sortes d'appareil.

La méthode de déclenchement de l'appareil fut fixée par l'utilisation d'un servomoteur commandant une came venant appuyer sur le bouton du déclencheur que nous détaillerons plus tard. Dès lors, l'utilisation d'un appareil jetable imposa un deuxième servomoteur et un système de roues dentées permettant l'avance du film entre deux prises de photos. Pour cela il fallait se munir d'une roue dentée en sortie du servomoteur de même module que celle du système d'avance du film d'origine. De plus la qualité de l'engrenage n'était pas garantie en raison de la qualité du matériau et de la fabrication des roues dentées. Enfin, ce système imposait une synchronisation parfaite entre les deux moteurs pour que le déclenchement de la photo ne se fasse pas lors de l'avance de la pellicule.

A nouveau, ces observations nous ont amené à ne pas retenir la solution de l'appareil photo jetable.

C'est pourquoi nous avons décidé de retenir le choix de l'appareil photo automatique à pellicule avec système de déclenchement par servomoteur et came. Ce système réunit les avantages que sont la facilité de mise en œuvre, la fiabilité ainsi que le coût.

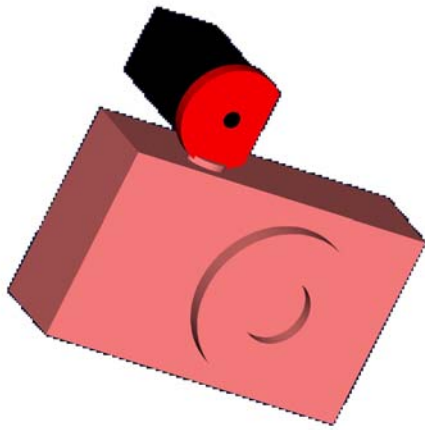
De plus, nous avons décidé de seulement prendre des photos à basse altitude de l'ENSAM grâce à une seconde nacelle attachée à la première, qui va être larguée seulement environ 2min après le décollage, ce qui va conditionner la fréquence de prise des photos. Sachant que le ballon peut parcourir plusieurs centaines de kilomètres (4 heures de vol), les risques de ne pas retrouver la nacelle sont alors importants. C'est pourquoi la solution du largage prématuré d'une deuxième nacelle offrait plus de chances de récupérer les photos.

2. Le déclenchement

Après recherche d'un appareil photo présentant un bon rapport qualité/prix, nous avons choisi un NEXIA 20 avec mise au point fixe et avance et rembobinage automatique du film. Les films utilisés sont des films 35 mm standards, l'objectif est de 28 mm, l'obturateur est réglé à 1/100 sec et la mise au point est faite par focale fixe. Son prix est d'environ 30€ et la pellicule utilisée FUJIFILM 36 poses 200 ASA est comprise.

Le servomoteur et la came utilisés sont issus d'un vieil avion radiocommandé.

De plus le servomoteur présentait grâce à son système de réduction, l'avantage de transmettre un couple à la came suffisamment important pour déclencher l'appareil. Il nous a fallu tout d'abord enlever la butée présente dans ce moteur qui ne lui permettait de faire qu'un demi tour. En effet notre moteur doit tourner en continu. Le moteur est alimenté par une pile AAA LR03 1,5V.

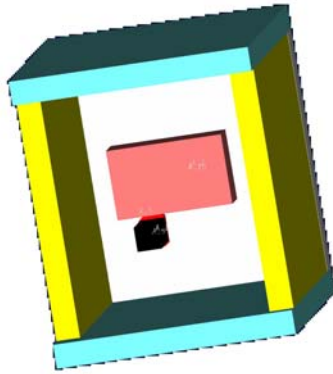


Les photos seront prises dès que le ballon décollera. Pour cela nous avons placé un Interrupteur en dehors de la nacelle qui nous permettra de déclencher le système au dernier moment.

3. La nacelle inférieure

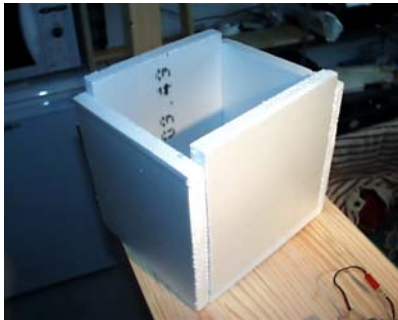
Le choix de réaliser une seconde nacelle pour la prise de photo nous a amené à faire face à d'autres conditions pour respecter le cahier des charges imposé par l'ANSTJ. Ainsi, la masse de l'ensemble nacelle + système de prise de photo doit être inférieure ou égale à 1 kg et sa masse surfacique ne doit pas dépasser 13 g/cm².

Le choix du matériau était donc important. Nous avons donc opté pour du polystyrène extrudé d'épaisseur 20 mm permettant une mise en forme facile, une bonne isolation thermique, un coût très faible, tout en gardant une masse très faible et une facilité à être détruit en cas de choc avec un avion en vol.



Par souci d'encombrement, nous avons décidé de choisir une plaque de fond de 20x20 cm pour garder les proportions d'un carré et ainsi les dimensions des autres plaques ont été choisies pour respecter les proportions d'un cube de 20x20x20 cm.

Nous avons ensuite réalisé une découpe dans la plaque du fond permettant de prendre les photos du sol lors de la montée. L'objectif de l'appareil sera protégé par une plaque de verre d'épaisseur 1 mm et nous avons effectué une légère aération par 2 petits trous de chaque côté de la plaque de verre pour éviter la buée.



La nacelle sera fermée au dessus par un couvercle pour éviter tout risque de rentrée d'eau dans celle-ci en cas de pluie le jour du lancer.



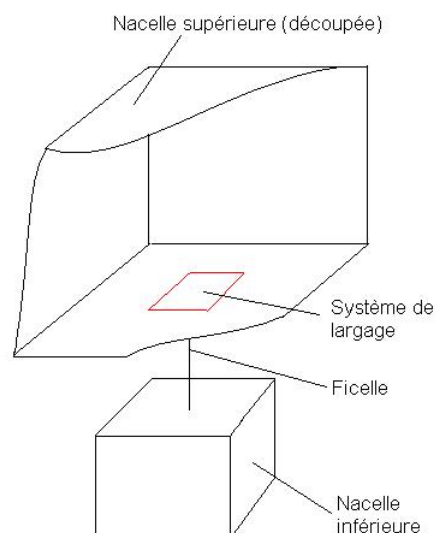
B. Système de largage

1. Situation du système de largage

Le système de largage de la seconde nacelle est situé sur la nacelle supérieure et permettra le largage de la nacelle inférieure comportant l'appareil photo.

Les deux nacelles sont liées par une ficelle (corde) qui est fixée complètement sur la nacelle inférieure, c'est-à-dire que lors du largage, la ficelle partira avec la nacelle inférieure.

Pour simplifier le schéma, nous n'avons pas représenté les deux parachutes (des deux nacelles), ni les réflecteurs.



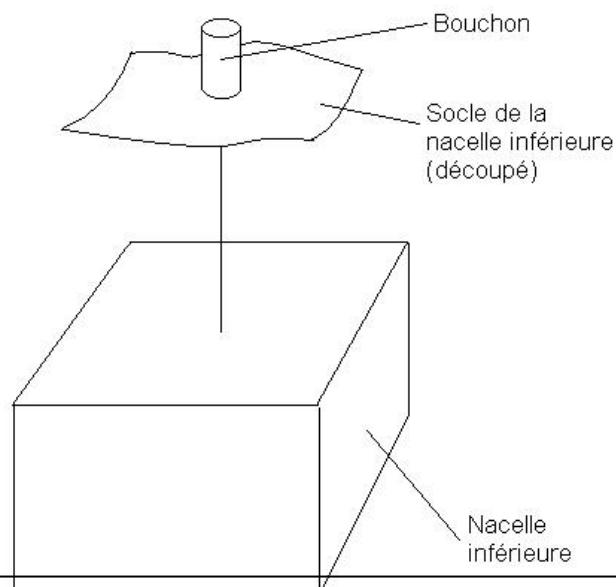
2. Les divers procédés de largage

Dès le départ, nous voulions lier les deux nacelles par une ficelle car c'est un procédé qui est peu coûteux et plus facile à réaliser. Sinon nous aurions dû incorporer la seconde nacelle dans la nacelle principale mais le largage aurait été plus difficile.

Une ficelle est complètement liée à la seconde nacelle.

• Technologie du « bouchon »

A l'autre extrémité de la ficelle est attaché un bouchon. Le bouchon est à l'origine dans la nacelle principale. Le largage consiste à détacher le bouchon donc, comme le bouchon dépend de la seconde nacelle, à larguer la nacelle inférieure.



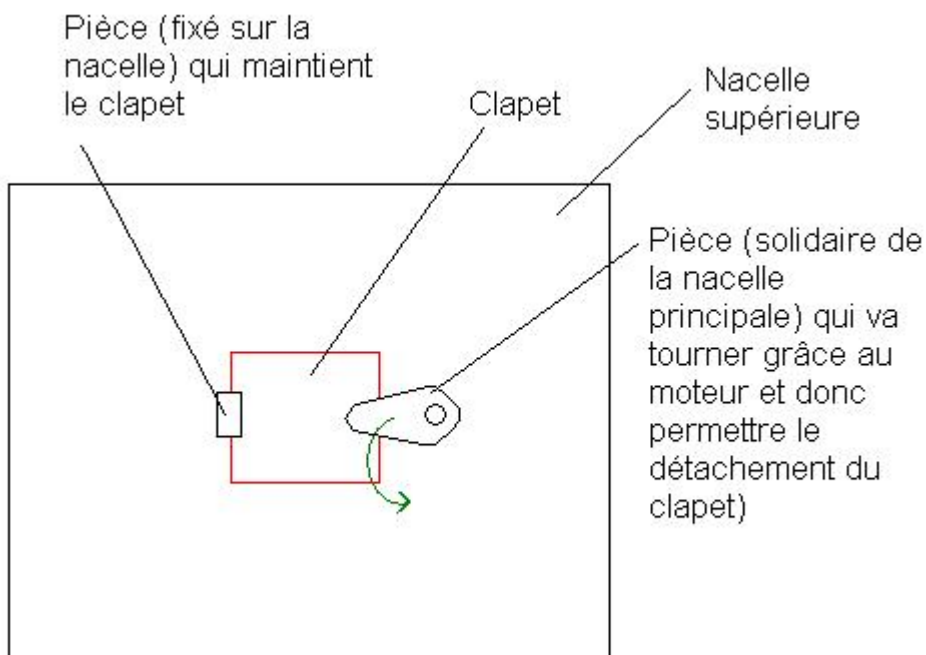
Pour détacher le bouchon de la nacelle principale, nous avons pensé à plusieurs procédés :

a) Par électroaimant :

Le bouchon est en métal. Il reste dans la nacelle grâce à un électroaimant. Au moment du largage, le courant arrête de circuler dans l'électroaimant ce qui provoque le détachement du bouchon. L'inconvénient principal de ce procédé est le coût surtout au niveau de la dépense d'énergie (car il faut faire circuler du courant dans l'électroaimant jusqu'au moment du largage). L'avantage majeur est que même si la nacelle inférieure a un poids très important, le bouchon se détachera quand même.

b) Par un clapet :

Le bouchon est en fait un clapet. Le clapet est maintenu par deux pièces solidaires de la nacelle supérieure. La première ne bouge pas et la seconde va effectuer une rotation au moment du largage grâce à un moteur. Le clapet va donc se détacher. L'inconvénient de ce procédé est qu'avec le poids de la seconde nacelle et les frottements, la pièce rotative aura du mal à tourner. Le système est représenté sur le schéma ci-dessous (la vue représente la nacelle supérieure vu de dessous) :



c) Par un bouchon percé :

Le bouchon est percé : une barre (de diamètre 5 mm) traverse le bouchon : c'est donc elle qui maintient le bouchon dans la nacelle supérieure. Au moment du largage, la barre est retirée et le bouchon tombe. Pour retirer la barre, il y a deux méthodes possibles : soit la barre est composée de gorge et le moteur engraine sur la barre (figure 1), soit la barre est reliée à une ficelle, elle-même reliée au moteur et quand le moteur va tourner, la ficelle s'enroulera autour de l'arbre du moteur et la barre sortira du bouchon (figure 2). Dans les deux cas, c'est la rotation du moteur (enclenchée par un timer) qui fera sortir la barre du bouchon.

Moteur + roue dentée

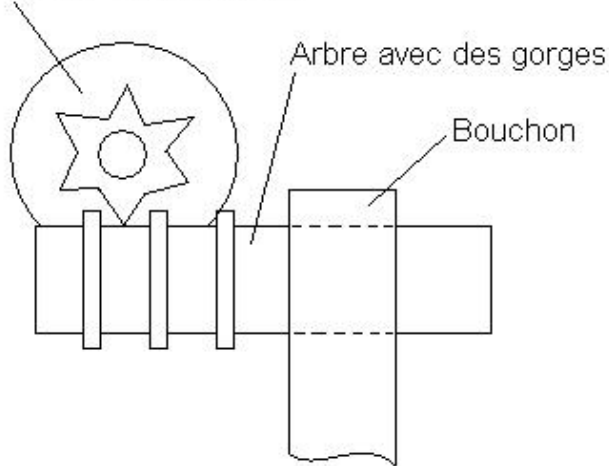


figure 1

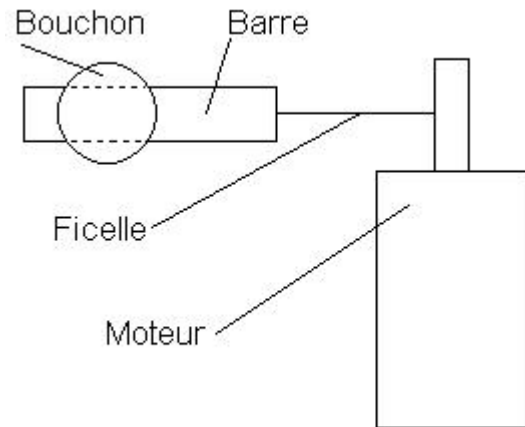
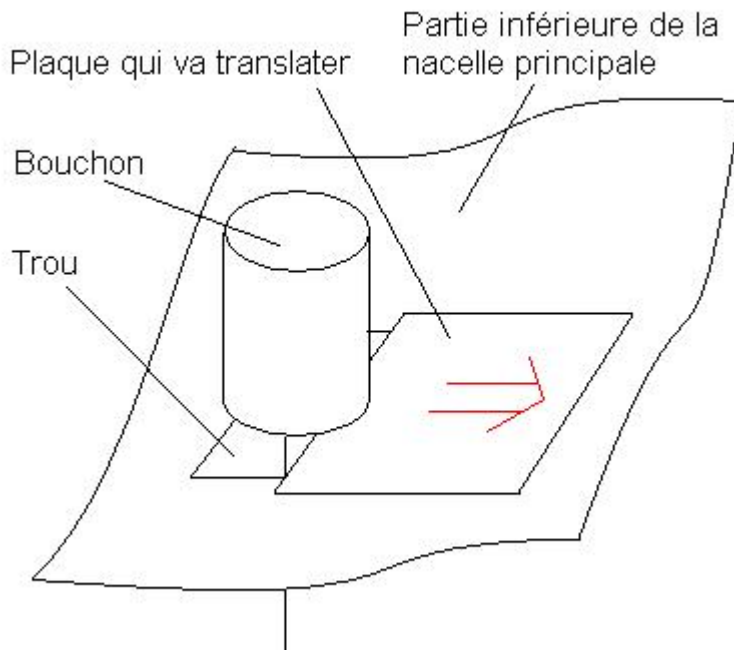


figure 2

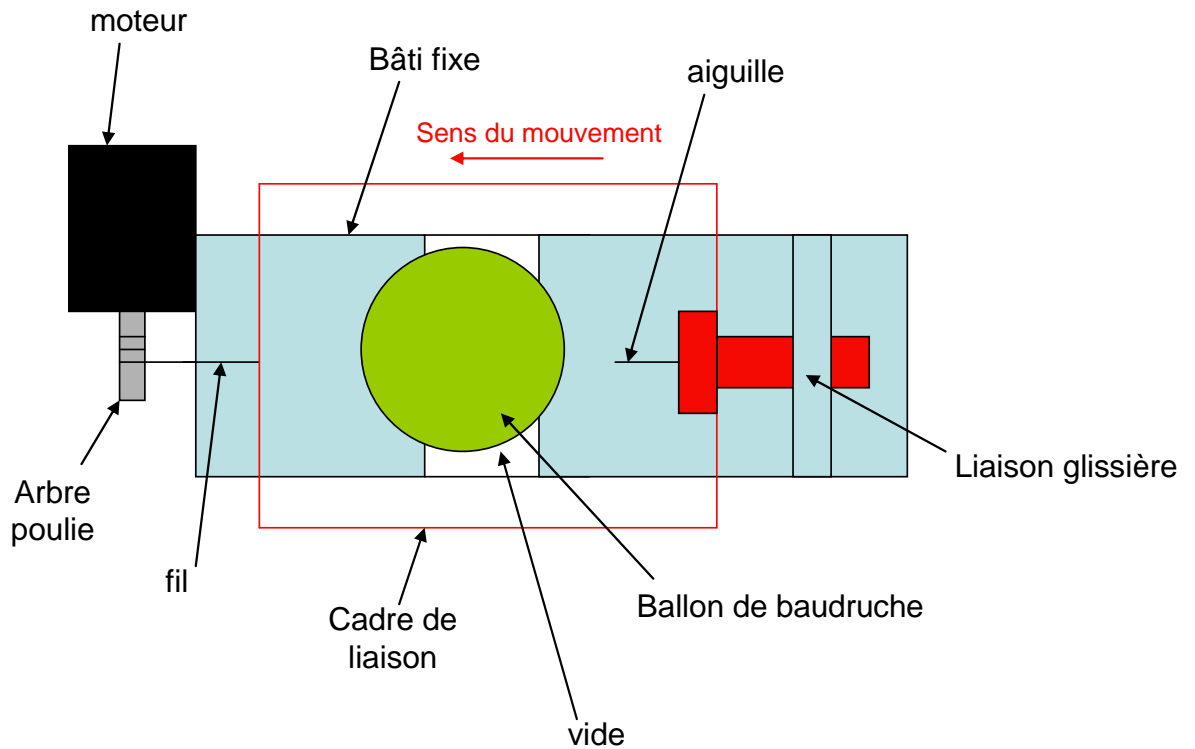
d) Par une plaque coulissante :

Le bouchon repose à moitié sur une plaque qui translate : (l'autre moitié repose sur une partie fixe) au moment du lâcher, la plaque va translater grâce à un moteur, le bouchon va alors tomber. La plaque est attachée par une ficelle qui est aussi reliée au moteur. Quand le moteur va tourner, la ficelle va s'enrouler autour de l'arbre du moteur et la plaque va translater (principe de la figure 2).



• Technologie du ballon

A l'autre extrémité de la ficelle est attaché un ballon. Le ballon est à l'origine dans la nacelle principale. Le largage consiste à crever le ballon donc, comme celui-ci dépend de la seconde nacelle, à larguer la nacelle inférieure.



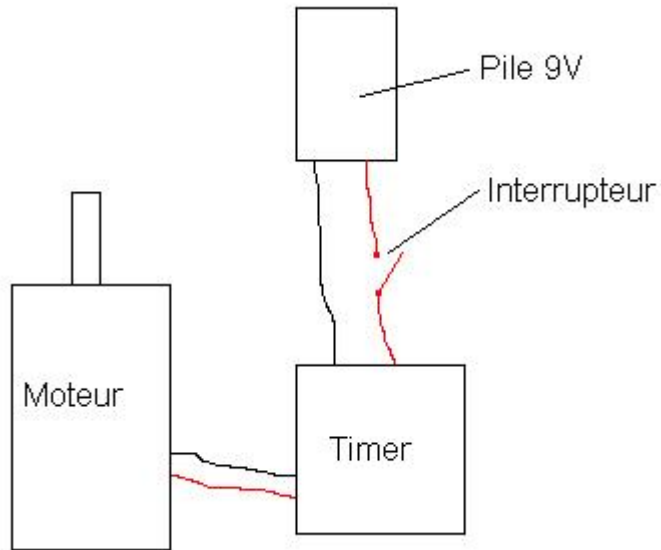
Le cadre de liaison translate grâce à la rotation de l'arbre du moteur et entraîne l'aiguille qui éclate le ballon. Il n'y a aucun contact entre le ballon et le cadre de liaison ; il n'y a donc aucun frottement dû au poids de la nacelle inférieure sur la liaison glissière.

3. Le système de largage que nous avons choisi

Nous avons choisi d'effectuer le procédé de largage avec le ballon qui éclate (système ci-dessus) pour les raisons suivantes :

- le prix : car c'est l'un des systèmes les moins coûteux à réaliser (peu de matériel nécessaire)
- l'économie d'énergie : ce qui n'est pas le cas avec l'électroaimant
- l'efficacité
- la simplicité de réalisation : il n'y a pas d'arbre ni de bouchon à usiner
- le côté élastique de la liaison avec le ballon qui permettra un amortissement des forces transmises entre les deux nacelles.
- l'absence de frottements directement produits par le poids de la nacelle inférieure.

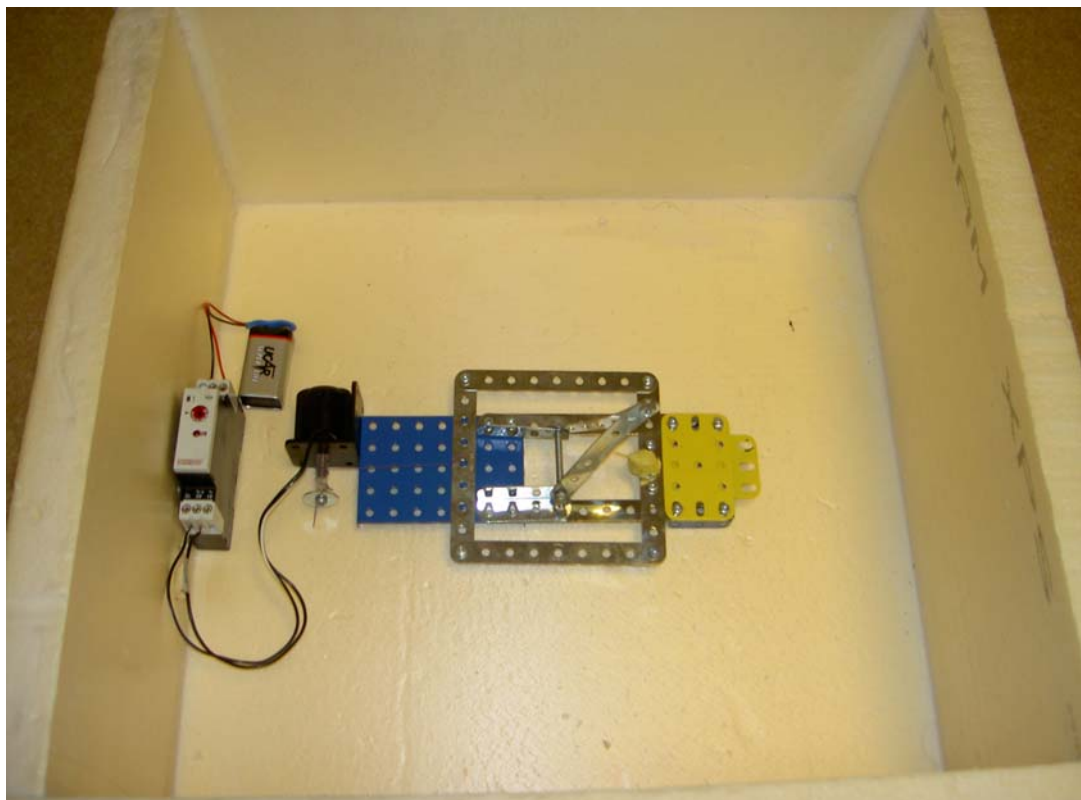
Pour enclencher la rotation du moteur, nous intercalons un timer (minuterie) entre l'alimentation (pile 9 V) et le moteur. Nous réglons le timer à environ 2 minutes. Pour enclencher le timer, il faut installer à l'extérieur de la nacelle un interrupteur que nous mettront sur « ON » lorsque la nacelle décollera. Voici le schéma de l'installation électrique :



Pour réaliser la partie mécanique, nous pouvions usiner le bouchon, découper la plaque, découper le support du système de largage mais toutes ces opérations auraient été complexes à réaliser. De plus, comme nous sommes limités en poids (d'après le cahier des charges), il fallait trouver un autre procédé pour obtenir ce système de largage. Nous avons donc opté les Meccano®. Comme cela, nous n'avons pas besoin d'usiner les pièces (il n'y a pas de problèmes d'ajustements), nous avons un système de largage solide et de plus il est extrêmement léger.

Nous entourons le système de polystyrène et d'une couverture de survie pour l'isoler du reste de la nacelle supérieure, ce qui forme un boîtier.*

Le timer et la pile se trouvent à l'extérieur de ce boîtier, comme sur la photo ci-après :



C.Mesure de température

L'expérience de la mesure de la température est une des premières à avoir été adopté au sein du projet.

But de l'expérience : Suivre l'évolution de la température au cours du vol

Pour mener à bien cette expérience, premièrement, nous avons choisi une sonde de température en fonction du cahier des charges de notre projet et des contraintes que nous nous étions imposé puis il a fallu adapter, par l'intermédiaire d'un circuit, le capteur choisi à l'émetteur kiwi.

1. Choix du capteur de température

Le choix du capteur est limité par le cahier des charges du projet :

- Etre capable de capter des températures entre 20°C (température ambiante) et -55°C (minimum de température de la troposphère)
- Résister à l'humidité (passage dans des nuages)
- Etre facile à étalonner (implantation sur le circuit conditionneur)
- Avoir une constante de temps faible (c'est le temps mit par le capteur pour arriver à la température du milieu)
- Donner des mesures précises (intervalle d'erreur faible)

Afin de répondre de manière précise à tous ces critères, nous avons commencé à nous renseigner sur les différentes catégories de capteur. Deux grands types de capteur nous ont intéressé :

- Les sondes thermocouple
- Les sondes Platine (Pt100 ou Pt1000)

Ces sondes se comportent comme des résistances variables, dont la résistance varie en fonction de la température. Cependant les sondes platine présentent l'avantage d'être étalonnée d'origine et l'on connaît leur comportement par l'intermédiaire d'une équation fournis par le constructeur. En effet une sonde Pt100 à une résistance de 100Ohms à 0°C.

Le choix de la catégorie de capteur fait, nous avons regardé dans les catalogues des différents vendeurs de matériel électronique. Une sonde Pt1000 a retenu notre attention : **Capteur Honeywell : HEL-776** , c'est une sonde Pt1000 (résistance de 1000Ohms à 0°C) Nous avons prit contact avec la société Honeywell qui a bien voulu nous fournir la sonde.

Présentation des caractéristiques générales du capteur¹ :



Variation linéaire de la résistance en fonction de la température
Domaine d'utilisation : -55°C à +150°C
Erreur de mesure : + ou - 0,2%
Constante de temps : <0,5secondes

¹ Voir la documentation constructeur en annexe

Nos motivations quand au choix de ce capteur :

Un domaine de température correspondant à l'utilisation pour notre ballon sonde
Une très grande précision avec une constante de temps inférieure à l'intervalle entre 2 mesures envoyées à terre par le kiwi

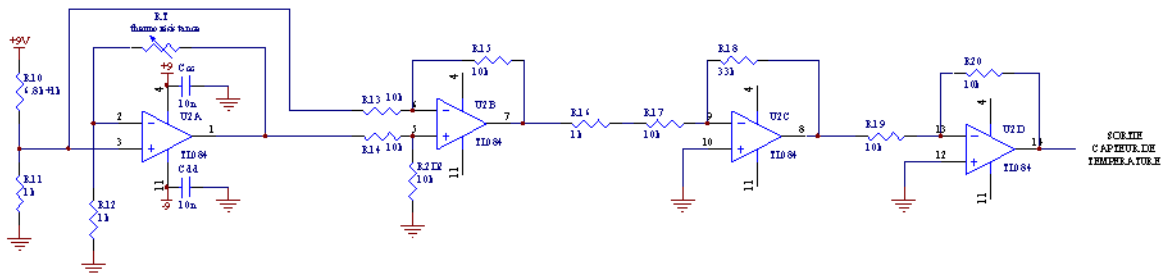
Une variation linéaire ce qui permettra une exploitation rapide des résultats de la télémesure.

2. L'interface du capteur de température

Le capteur lui-même ne nous permet pas de connaître la température, il faut une interface nous délivrant une tension de sortie liée à notre variation de température. De plus comme nous avons décidé d'utiliser l'émetteur kiwi qui nous était fourni, nous avons la contrainte que cette tension soit comprise entre 0 et 5 Volts.

Ce montage a pu être réalisé grâce à l'aide de Johan MABILLE élève à SUPELEC.

Schéma du montage :



Ce montage nous donne en sortie une tension comprise entre 0 et 5V, pour pouvoir remonter à la température connaissant cette tension de sortie, il est nécessaire de retrouver la résistance de notre capteur.

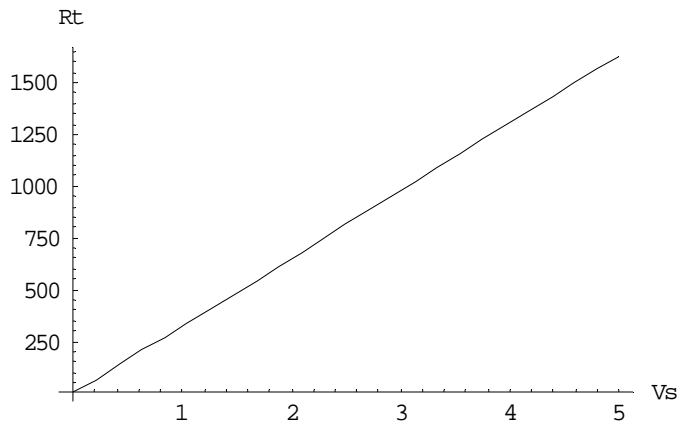
Tout d'abord voici l'équation donnant V_s (tension en sortie) en fonction des différents composants et de la tension d'entrée (les détails de calcul sont fournis en annexe) :

$$V_s = \frac{R_{20} * R_{18}}{R_{19} * (R_{16} + R_{17})} * \left[\left(1 + \frac{R_{15}}{R_{13}} \right) * \frac{R_{2D2}}{R_{2D2} + R_{14}} * \frac{9 * R_{11} * (R_T + R_{12})}{R_{12} * (R_{11} + R_{10})} - \frac{9 * R_{15}}{R_{13}} * \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} \right]$$

Nous allons maintenant transformer cette équation pour connaître R_t (résistance de la sonde), en appliquant leurs valeurs aux différentes résistances :

$$R_T = \frac{8800 * V_s}{27}$$

Voici la courbe donnant R_t en fonction de V_s



Revenons sur les caractéristiques du capteur, le constructeur fournit une équation permettant de passer de R_t à la température. Voilà cette équation :

$$R = R_0(1 + AT + BT^2 - 100CT^3 + CT^4)$$

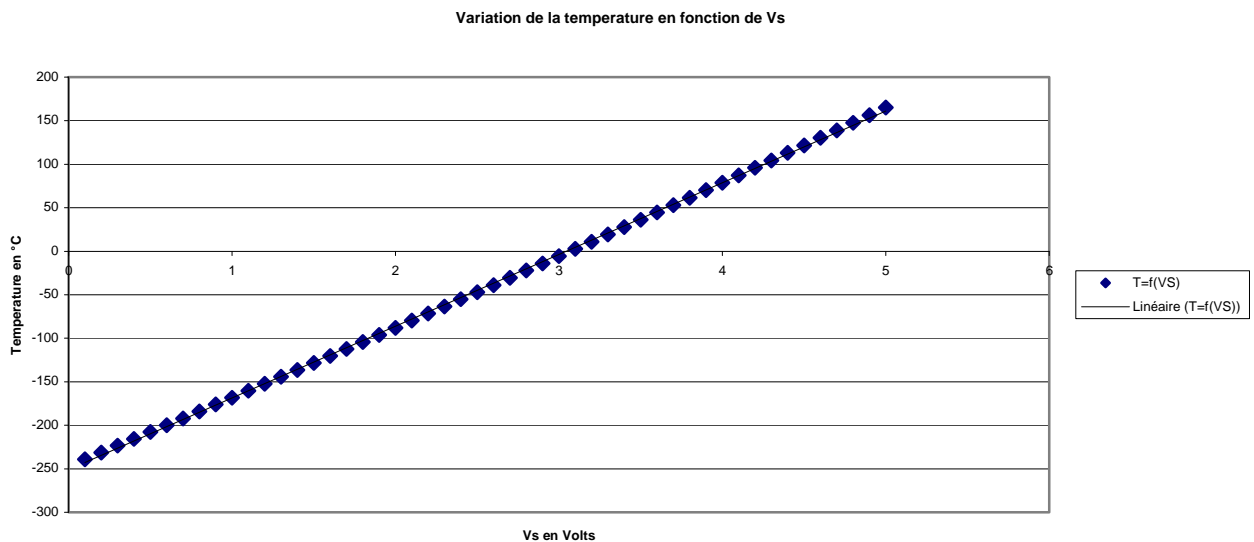
R_0 : Résistance à 0°C donc $R_0=1000\text{Ohms}$

T : la température

R : la résistance du capteur à un instant donné

A, B, C des constantes (voir document constructeur en annexe)

Nous connaissons maintenant l'équation donnant la température en fonction de la résistance et celle donnant la résistance en fonction de V_s , on peut donc tracer la courbe donnant la température en fonction de V_s :



Ne pas oublier qu'il existe une erreur de + ou - 0,2%

Tous les résultats doivent maintenant être vérifié expérimentalement, nous avons donc comparé pour 2 températures différentes, la réponse du capteur et celle donnée par une sonde du commerce à brancher sur multimètre.

Pour une température de $15,8^\circ\text{C}$: on trouve $V_s=3,3\text{V}$ ce qui après calcul donne $T=15,77^\circ\text{C}$

On vérifie bien les équations avec une marge d'erreur faible que l'on pourra négliger. L'expérience peut donc être embarqué dans la nacelle.

D.Mesure de pression

But de l'expérience : La mesure de la pression au cours du vol a 2 rôles, tout d'abord connaître l'évolution de la pression mais aussi, par l'intermédiaire d'un model de l'atmosphère détaillé dans une prochaine partie, de connaître l'altitude du ballon sonde.

1. Capteur de Pression

Les conditions que doit remplir le capteur de pression sont a peut prêt similaire a celle du capteur de température, à savoir :

- Résister à des températures allant jusqu'à -55°C
- Résister à l'humidité
- Facilité d'étalonnage
- Capter des pressions entre 0 et 1,1 Bar

Les capteurs de pression peuvent être selon les modèles compensé en température ou non, nous avons opté compte tenu de la forte variation de température (jusqu'à -55°C) de prendre un capteur de pression compensé en température, cela augmente un peu le prix mais tout en restant raisonnable.

Choix du capteur:

Le cahier des charges concernant le projet est assez contraignant en ce qui concerne les montages électroniques. En effet l'équipe doit faire face à plusieurs problèmes.

D'une part les conditions climatiques extérieures imposent à l'équipe de choisir des capteurs résistants tant à une température très basse qu'à une humidité qui peut être très importante (et qui doit être envisagée comme telle).

D'autre part la finalité de l'expérience, c'est-à-dire la confrontation des modèles théoriques et expérimentaux, nécessite une mesure relativement précise de chaque grandeur physique.

Enfin, l'équipe doit gérer un budget et donc se contraindre à utiliser du matériel abordable.

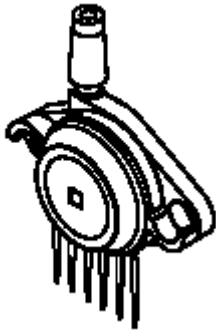
D'autres critères sont bien sûr à considérer : poids, consommation électrique et facilité de mise en œuvre.

Comme pour toutes les recherches de matériel, nous avons été orientés par notre tuteur de projet M. MALASSE qui, en tant que chercheur au sein du département EEA de l'ENSAM, a l'habitude de recourir aux fournisseurs suivants : FARNELL et RADIOSPARES.

Après s'être renseigné sur les différents modèles, nous avons trouvé un capteur correspondant parfaitement à notre demande, c'est-à-dire fonctionnant pour des pressions de 0,15 à 1,15bar, compensé en température et ayant une sortie entre 0 et 5Volts.

Le fait que le capteur fournisse une tension de sortie déjà amplifié entre 0 et 5V nous permet d'éviter de faire un montage complexe comme pour le capteur de température et de simplement se limiter au montage donné par le constructeur.

Nous avons donc retenu comme capteur² : [Motorola , MPX4115A](#)



Quelques caractéristiques :

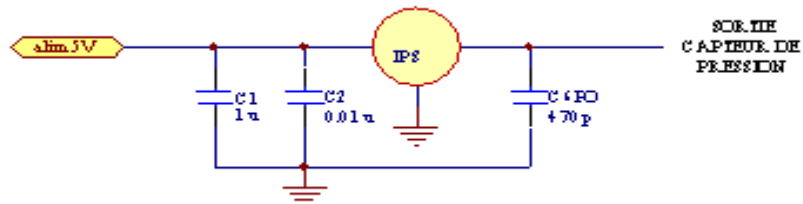
- Réponse du capteur linéaire
- 1,5% d'erreur maximum
- Compensé en température
- Sortie entre 0,2 et 4,8V

2. Circuit associé au capteur de pression

Pour le capteur de pression comme il fournit en sortie une tension image de la pression entre 0,2 et 4,8V, celui-ci peut directement être branché sur le kiwi.

Schéma du montage :

(Les condensateurs servent à protéger les entrées)



Comment passer de la tension de sortie à la pression ?

La documentation constructeur nous donne :

$$V_s = V_e * (0,009 * P - 0,095)$$

On prend $V_e = 5V$, tension d'entrée

Cependant comme le capteur est compensé en température, il faut calculer une erreur qui est fonction de la température, le résultat précédent est donc :

$$V_s = V_e * (0,009 * P - 0,095) \pm (Erreur_pression * Facteur_de_temperature * 0,009 * V_e)$$

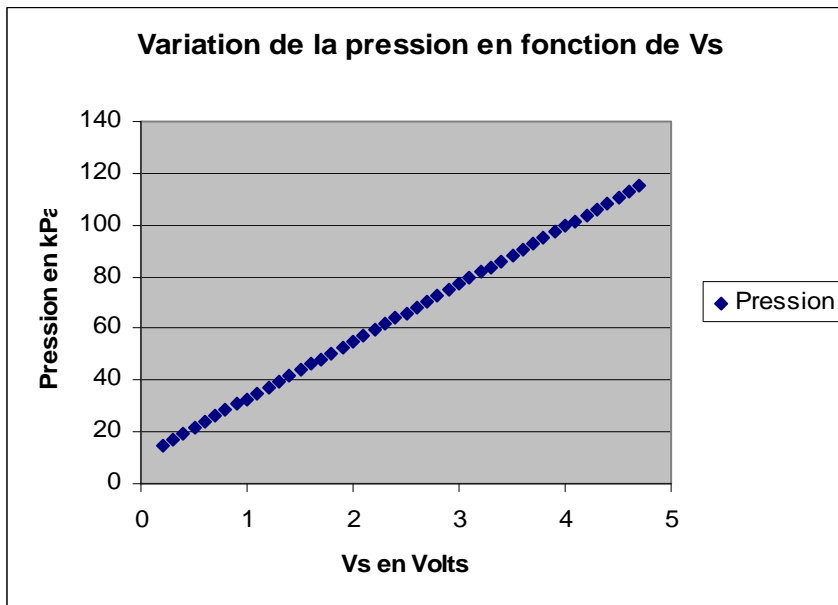
L'erreur de pression est fixe : $Erreur_pression = 1,5kPa = 0,015Bar$

Le Facteur de température varie en fonction de la température (d'où la nécessité des résultats du capteur de température pour connaître l'erreur sur V_s)

Il est possible de tracer l'évolution de la pression en fonction de la tension de sortie du capteur, cependant comme on ne connaît pas la température pour une pression donnée, il ne sert à rien d'intégrer l'erreur celle-ci sera calculé lors de l'analyse des résultats après le lâché en corrélant les mesures de la pression avec celle de la température.

² Ce capteur a été commandé dans le catalogue **Conrad**.

Courbe de pression théorique :



Remarque :

Plus la température va diminuer, plus le facteur de température va augmenter et cela va augmenter l'erreur sur la mesure.

3. Réalisation du conditionneur :

a) **Présentation du contexte :**

L'équipe a décidé d'utiliser le système de télémessure fourni par Planète Science et composé de l'émetteur KIWI, de la station de réception et du logiciel d'acquisition KICAPT. La conception du conditionneur du capteur de luminosité ainsi que de ceux des deux autres capteurs doit donc prendre en compte les conditions de fonctionnement de système, à savoir :

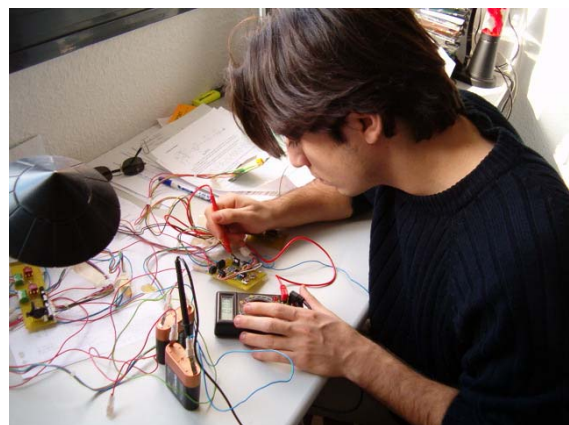
- Le traitement du signal doit être réalisé de façon analogique.
- La tension de sortie de chaque conditionneur doit être comprise entre 0 et 5V et ne doit en aucun cas dépasser ces valeurs (sous peine de mise hors service de l'émetteur)
- Le récepteur est alimenté par une tension de 9V continue

Notons qu'à la vue du poids maximum imposé pour la nacelle, il convient de simplifier au maximum l'alimentation de tout système électrique embarqué.

b) **Conception du circuit :**

Désireux de munir la nacelle d'un montage fiable et performant et conscient de notre manque certain de connaissances dans le domaine de la conception de circuits électroniques, nous avons eu recours à l'aide d'un élève de SUPELEC en la personne de François KLEIN. En effet l'implantation sur le même site de ces deux écoles facilite le contact et donc l'échange de connaissances.

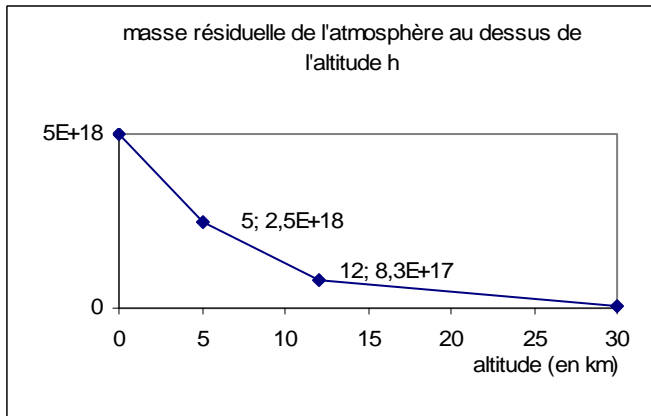
De plus l'école supérieure d'électricité fournit à tous ses étudiants des outils très puissants d'aide à la conception et à la



réalisation de circuits électroniques. Il s'est donc occupé de réaliser les cartes électroniques à partir des schémas et tipons que nous lui avons fournis. Nous avons récupéré ces-derniers du projet de l'année dernière pour des raisons de simplicité.

c) Modèle de pression :

On se base sur ces chiffres :



Masse de l'atmosphère : $5 \cdot 10^{15}$ tonnes
 50% de la masse de l'atmosphère est dans les 5 premiers kilomètres.
 83% de la masse de l'atmosphère est dans les 12 premiers kilomètres.
 99% de la masse de l'atmosphère est dans les 30 premiers kilomètres.
 On fait l'hypothèse que l'évolution de la masse est linéaire entre ces points.

(1) Partie calculs :

$$P(h) = \frac{m(h) \times g(h)}{S(h)}$$

$m(h)$ est donnée par le graphique ci-dessus

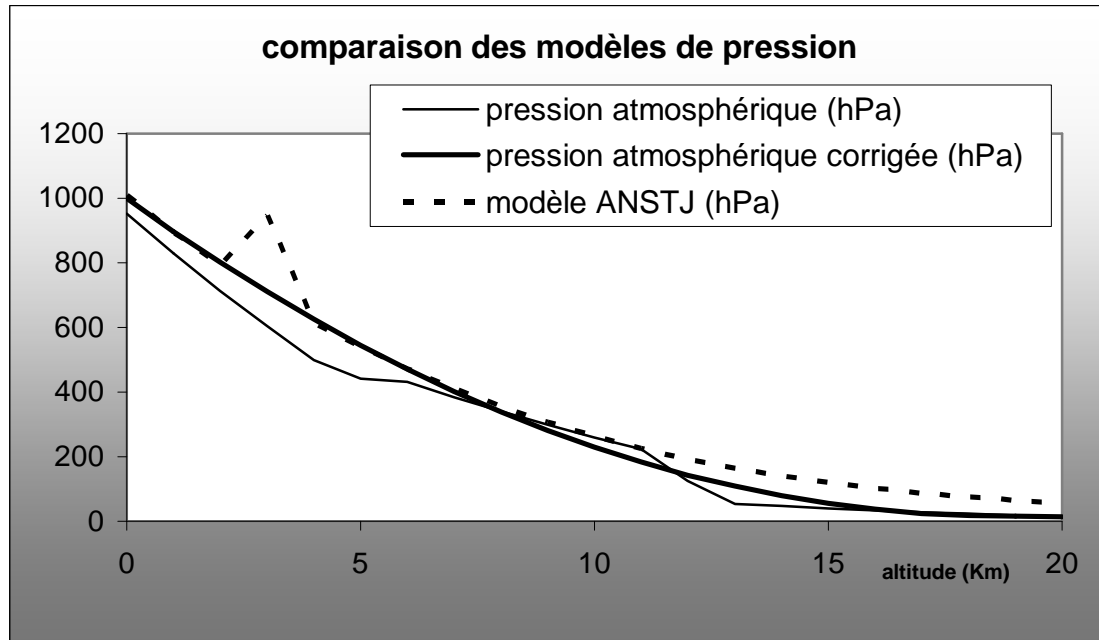
$$g(h) \approx 9,806 - 3,1 \times 10^{-4} \times h$$

$$S(h) = 4\pi \times (r_{\text{TERRE}} + h)^2$$

- $m(h)$ est la masse résiduelle de l'atmosphère au dessus de la hauteur h .
- $g(h)$ est l'accélération de la pesanteur modifiée par l'altitude
- $S(h)$ est l'aire de la sphère de centre : le centre de la Terre ; et de rayon : rayon de la Terre + altitude

altitude (Km)	pression atmosphérique (hPa)	pression atmosphérique corrigée (hPa)	modèle ANSTJ (hPa)
0	953	1000	1010
1	830	898	896
2	714	801	792
3	603	710	947
4	499	625	614
5	441	545	538
6	432	471	471
7	385	402	409
8	341	339	355
9	299	282	306
10	260	230	264
11	223	184	226
12	125	143	193
13	54	108	165
14	47	79	140
15	40	55	120
16	34	37	103
17	28	24	88
18	23	17	75
19	18	16	64
20	14	14	55

On calcule la pression atmosphérique comme étant l'action du poids de la colonne d'air au-dessus d'une surface donné. Quand cela est fait, on modélise la courbe obtenue par morceaux : entre 0 et 5 Km, entre 5 et 12 Km, et entre 12 et 30 Km par une fonction polynomiale du second degré et on recalcule les valeurs. On prend 1010 hPa à l'altitude 0 pour le modèle ANSTJ.



On regarde ensuite l'erreur de notre modèle par rapport au modèle ANSTJ, et on remarque qu'il est valable sur les 8 premiers kilomètres avec une erreur inférieure à 5 %, après l'erreur augmente très vite sur les petites valeurs de pression. On pourrait diminuer cette erreur en affinant l'équation du modèle numérique.

altitude	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
erreur	1	0,2	1,2	25	1,7	1,2	0	1,7	4,3	7,9	13	19	26	34	44	54	64	72	77	75	75

E. Système d'échantillonnage d'air

1. Situation du système d'échantillonnage

Le système d'échantillonnage d'air est situé dans la nacelle supérieure.

Il permet d'obtenir des échantillons d'air à 3 altitudes différentes afin d'avoir une idée de l'évolution de sa composition et d'identifier les éventuelles traces de polluants.

2. Les divers procédés d'échantillonnages

Dès le départ de ce projet ce système nous a posée quelques soucis.

En effet, sachant que la température à haute altitude est relativement faible, on avait dans l'obligation de rendre complètement hermétique la nacelle afin d'optimiser le bon fonctionnement des composants électroniques.

Or le but de ce système est justement de capturer de l'air extérieur pour l'analyser par la suite.

Il était donc nécessaire de concevoir un système répondant à ces deux critères et aux exigences retenus par le cahier des charges.

D'une première recherche nous avons retenue 3 procédés principaux:

a) Par un clapet :

L'idée est d'installer sur notre nacelle 3 compartiments dont on fait le vide à l'intérieur. Ces compartiments ne présente qu'une seule ouverture en contact avec le milieu extérieur qui est bouchée par un clapet. Une impulsion de courant au bornes d'un électro-aimant judicieusement disposé près du clapet permet son ouverture un court instant, mais suffisant pour le remplissage du compartiment.

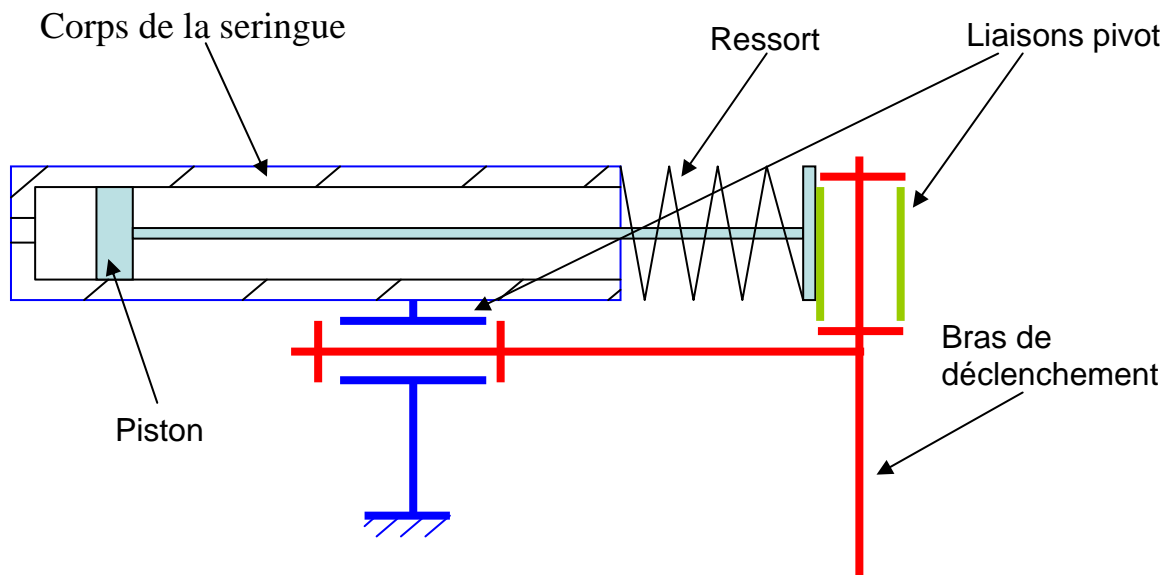
L'inconvénient de cette solution est le coût assez élevé que nécessite le matériel. Par contre ce système utilise très peu d'énergie.

b) Par emprisonnement :

L'idée est d'installer sur notre nacelle 3 compartiments en contact permanent avec le milieu extérieur, et de fermer la seule ouverture à l'altitude désirée à l'aide d'un mécanisme approprié. Un mécanisme de porte commandée fut proposée mais fut vite abandonné à cause de la complexité de la conception.

c) Par aspiration :

L'idée est d'installer en parallèle 3 seringues dont seul l'extrémité est en contact avec le milieu extérieur. Le piston de chaque seringue est quasiment rentré à fond, seul un ressort tend à le faire ressortir (et donc aspirer). Un bras de déclenchement monté sur pivot empêche l'action du ressort. La rotation de ce bras entraîne alors le processus de pompe. Une ficelle munie d'un bouchon souple rattaché au piston permet le rebouchage automatique de l'ouverture de la seringue.



3. Le système d'échantillonnage que nous avons choisi : par aspiration

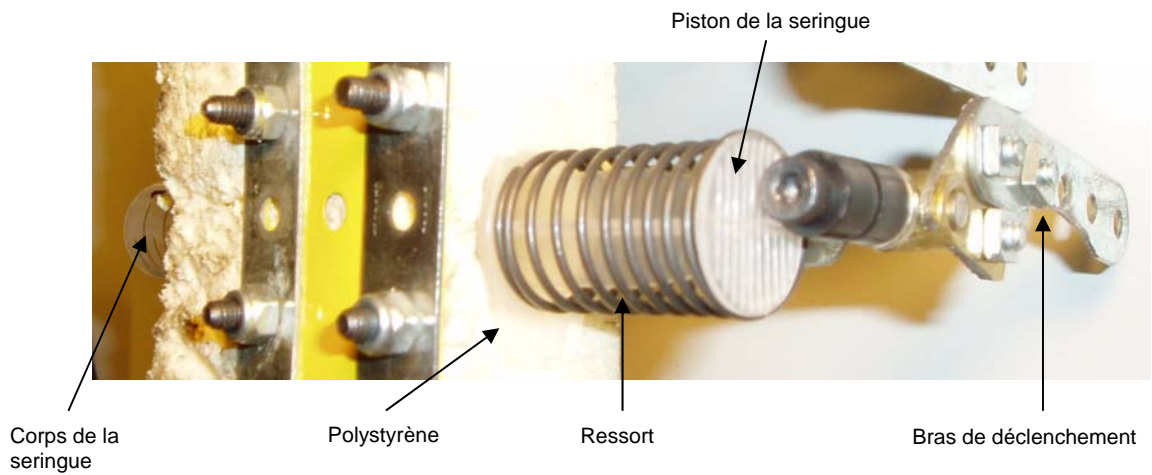
Nous avons choisi d'effectuer ce type d'échantillonnage pour les raisons suivantes :

- le prix : car c'est l'un des systèmes les moins coûteux à réaliser (peu de matériel nécessaire)
- l'économie d'énergie
- l'efficacité
- la simplicité de réalisation

Ce système a été entièrement réalisé à partir de 3 seringues, de 3 ressorts, d'un ensemble de pièces de meccano, et d'un morceau de polystyrène.



Nous obtenons alors le mécanisme suivant :



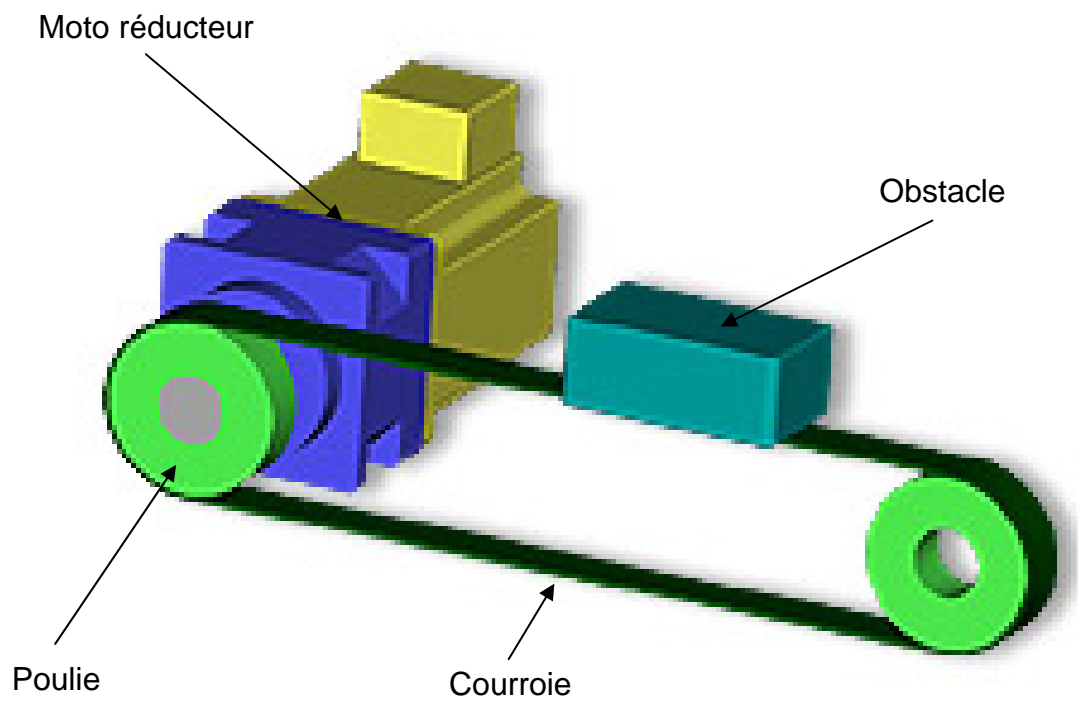
4. Le système de déclenchement

Il reste tout aussi simple que le précédent à réaliser mais est nettement plus coûteux. En effet, dans cet ensemble global de prise d'air il est le seul à utiliser de l'énergie électrique, et les pièces pour la réalisation sont largement plus chères.

Il est constitué d'une moto réducteur, d'un système de poulies, d'une courroie et d'un obstacle. Ce système permet de déclencher l'aspiration en mettant en rotation le bras de déclenchement à l'aide de l'obstacle.



On obtient alors le mécanisme suivant :



5. Quelques problèmes rencontrés

- Système d'auto bouchage
- Confection du système de déclenchement

6. Au final

On peut conclure sur le fait que ce système est particulièrement approprié et efficace.



F.Nacelle

1. Deux nacelles

Les expériences que nous avons décidé d'embarquées dans la nacelle sont les mesures de pression, de température, une prise d'échantillon d'air, un anémomètre et un appareil photo. En raison des probabilités de retrouver une nacelle (50%), nous avons décidé de réaliser 2 nacelles :

- dans la nacelle supérieure (masse < 2 kg) sont placés les capteurs de mesure et autres dispositifs (système de prise d'échantillon...)
- dans la nacelle inférieure (masse < 1 kg) est placé l'appareil photo

Ainsi, la nacelle inférieure est larguée après 1minutes 50 de vol, et peut être suivie visuellement.

2. La forme et les dimensions des nacelles :

La forme des nacelles doit limiter les effets de pointes, qui peuvent être dangereuses en cas de choc : nous avons le choix entre des formes parallélépipédique, cylindrique ou sphérique.

Pour des raisons évidentes, la forme sphérique n'a pas été retenue.

De même, la forme cylindrique présente des difficultés de réalisation. Les nacelles sont donc de forme parallélépipédique.

Pour le respect du cahier des charges, nous avons choisi d'utiliser du polystyrène extrudé. Celui-ci est léger, d'un coût modéré, il est suffisamment résistant pour supporter les équipements embarqués et reste facilement destructible en cas de choc en vol.

Pour la nacelle supérieure, plus lourde et parcourant un plus long vol, le polystyrène a une épaisseur de 30mm, et une masse surfacique de 0,12 g/cm².

Pour la nacelle inférieure, le polystyrène a une épaisseur de 20mm et une masse surfacique de 0,054 g/cm².

Dans le but de trouver un compromis entre le poids de la nacelle elle-même, et une répartition surfacique inférieure à 13 g/cm², nous avons fait plusieurs calculs de dimensionnement.

Finalement nous avons opté pour une grande nacelle de forme quasi cubique, de côté 45cm, et une petite nacelle de même forme et de côté 20cm. D'où les valeurs :

- nacelle supérieure : masse à vide = 600 g,
- nacelle inférieure : masse à vide = 200 g

Concernant la fixation des différentes faces, nous avons plusieurs possibilités :

- avec de la colle
- avec des cures dents
- avec du scotch

Une fixation uniquement faite avec du scotch est beaucoup trop fragile.

Nous avons ainsi choisi de fixer l'ensemble au moyen de cures dents, préalablement trempés dans de la colle Epoxy® car celle-ci permet un maintien efficace du cure dent dans la matière, n'attaque pas le polystyrène, et résiste à très basse température.

Seul le couvercle est fixé avec de simples cures dents, avant le lâché. Mais ceci ne pose pas de problème, car la nacelle est suspendue dans un berceau de corde, le couvercle assure simplement une étanchéité minimale.

L'étanchéité des raccords entre les autres faces est assuré par du mastic



3. Fixation des composants dans les nacelles

La nacelle supérieure sera divisée en deux étages :

- sur le fond est fixé le système de largage de la nacelle inférieure, en prenant soin de centrer la corde sur la face inférieure, ainsi que l'antenne d'émission du système
- au-dessus, les circuits électroniques seront fixés à l'aide de colliers Rilsan, et une pile est fixée dans chaque angle de manière à équilibrer la nacelle.

4. Les nacelles finies

La nacelle supérieure sera entourée d'une couverture de survie pour limiter les variations trop importantes de température à l'intérieur de la nacelle.

Avant le lâché, le couvercle est fixé, à l'aide de cure-dent.

Par-dessus la couverture de survie nous fixerons des étiquettes indiquant l'origine de la nacelle, ainsi que les instructions à suivre pour nous la rendre dans les plus bref délais.

5. La chaîne de vol

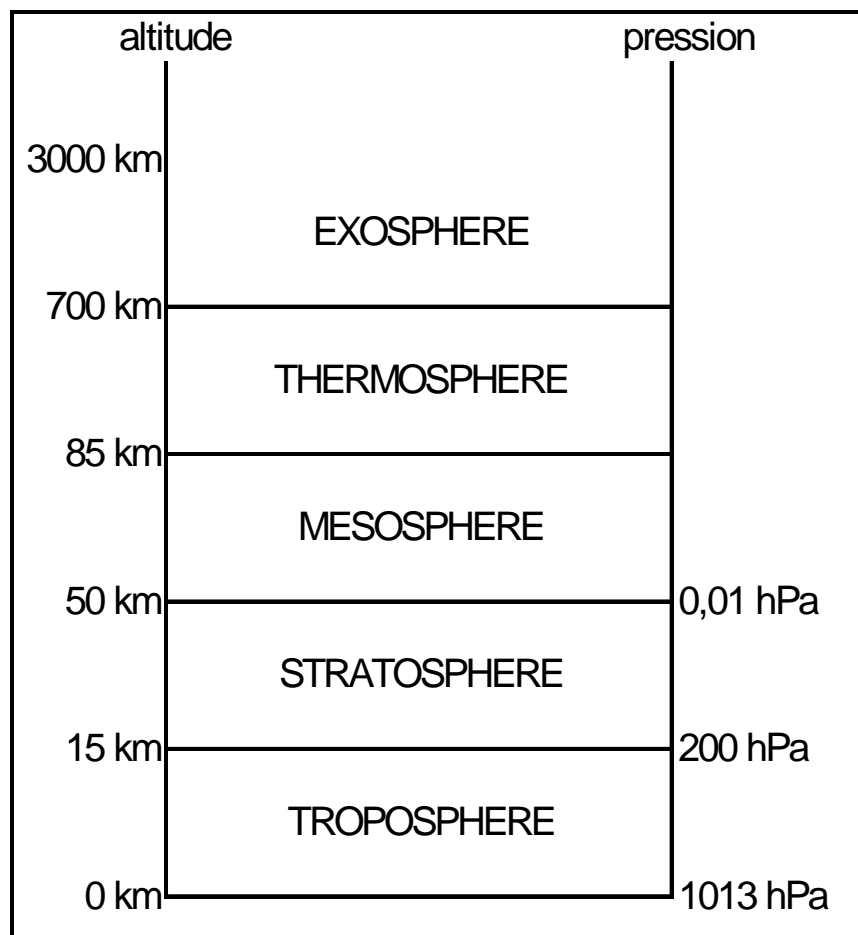
L'assemblage des différents éléments de la chaîne de vol est fait à l'aide d'une corde. Celle-ci doit avoir une résistance à la rupture inférieure à 25 kilogrammes.

Les berceaux de cordes seront réalisés sur les nacelles avant le lâché.

Entre les deux nacelles viendra s'intercaler un parachute pour la petite nacelle.

G.Le modèle atmosphérique

Il faut tout d'abord savoir que l'atmosphère se compose de plusieurs strates. Il y en a en tout cinq différentes



La plus basse couche est la troposphère. Les caractéristiques de cette couche sont connues grâce à l'utilisation de ballon sonde qui mesurent les changements verticaux de pression, de température, d'humidité et de la vitesse du vent.

L'épaisseur de cette couche est d'en moyenne 8km, cette épaisseur varie en fonction de la latitude et de la saison, cette épaisseur sera maximale au dessus de l'équateur et en été. Environ 99% de la vapeur d'eau se situe dans la troposphère, c'est ici que se déroulent tous les phénomènes météorologiques. De plus la convection thermique est importante, ce qui se traduit par un brassage d'air important.

La troposphère est aussi la couche la plus dense de l'atmosphère car elle représente environ 50% de la masse totale, la perte de température est constante, environ -6.5°C par km.

La seconde strate de l'atmosphère est la stratosphère, entre 10 et 50km, ici la température est constante jusqu'à environ 20km puis augmente régulièrement jusqu'à -20°C à 50km.

C'est dans cette strate que l'ozone est présent en grande quantité. C'est à cause de lui que la température de l'atmosphère augmente.

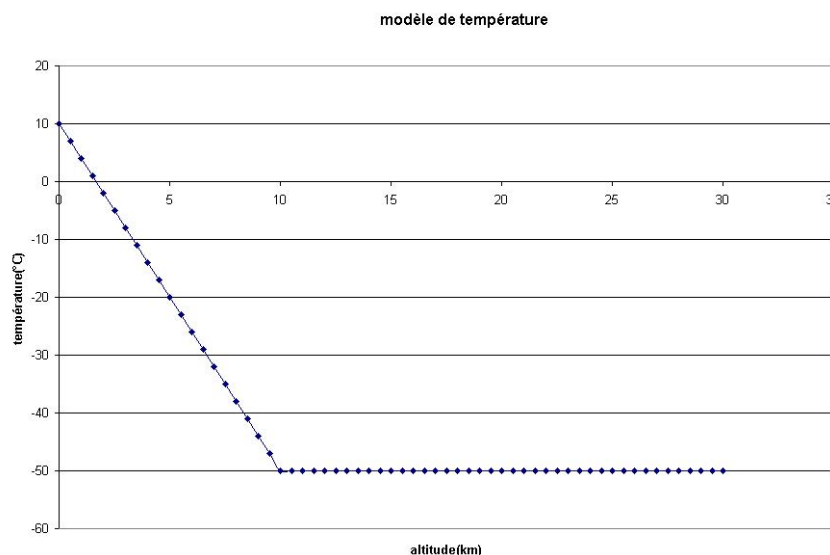
La troisième strate est la Mésosphère, entre 50 et 80km. Cette couche est caractérisée par une chute de la température qui atteint 190°K à 80km. Les gaz composant cette partie sont très léger (séparation gravitaire).

L'avant dernière partie de l'atmosphère est la thermosphère qui s'étend jusqu'à 700km

La dernière partie est une zone de transition entre l'atmosphère et l'espace intersidéral. Cette zone peut s'étendre jusqu'à 3000km.

1) Modèle de température

On se base sur une température de 10°C pour la fin du mois de mars. Sur les 10 premiers kilomètres, la température décroît de 6°C par kilomètre ; puis ensuite cette température reste constante si on néglige la remontée de température due à l'absorption des rayons solaires.



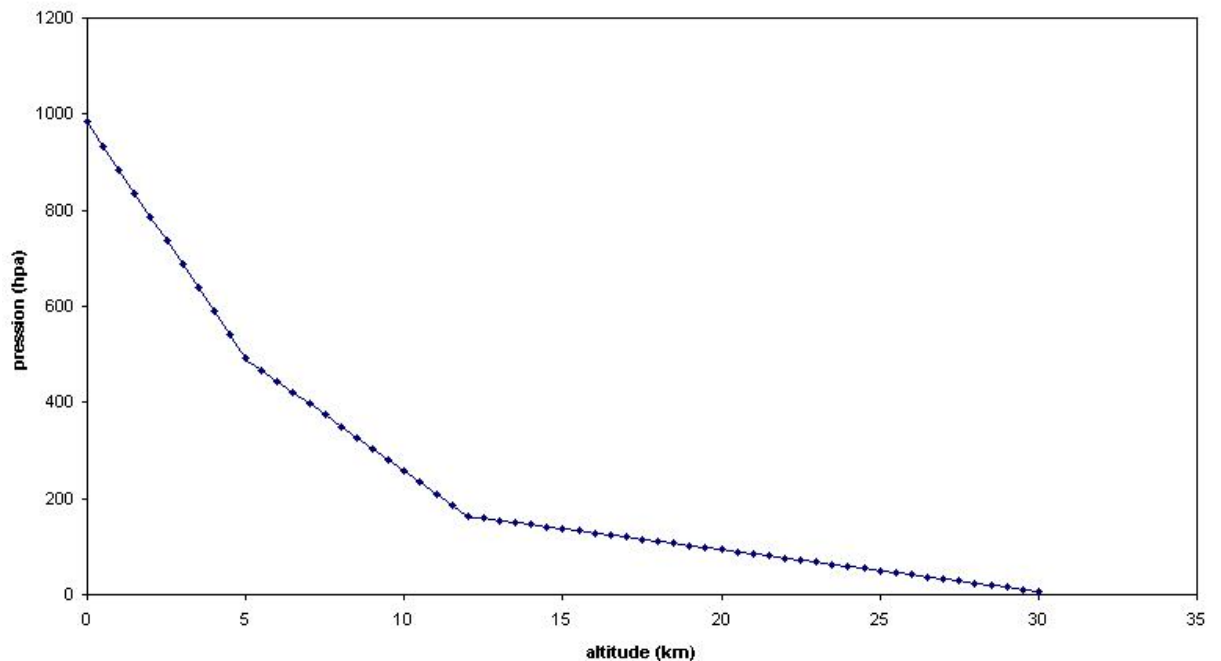
2) Modèle de pression

Pour calculer la pression on se base sur ces chiffres

- 50% de la masse sur les 5 premiers kilomètres
- 83% de la masse sur les 12 premiers kilomètres
- 99% de la masse sur les 30 premiers kilomètres

On suppose que la chute de température est linéaire entre ces points

La pression



Calculs : on utilise la formule $P(h) = m(h) \cdot g(h) / S(h)$

$m(h)$ est la masse de l'atmosphère au dessus de l'altitude h

$g(h)$ est l'accélération de la pesanteur à l'altitude h

$S(h)$ est l'aire de la sphère de centre, le centre de la terre et de rayon, le rayon de la terre + altitude h

$$g(h) = 9.806 - 3.1 \cdot 10^{-4} \cdot h$$

$$S(h) = 4 \cdot \pi \cdot (\text{Rayon(terre)} + h)^2$$

La pression atmosphérique est calculée comme la masse de l'air au dessus d'une surface donnée.

Une fois modélisée, on lisse la courbe en donnant pour $h=0$ la pression = 1010 hPa

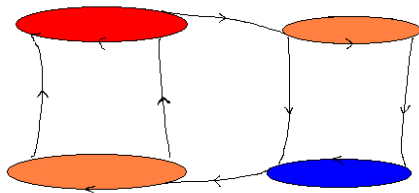
H.L'anémomètre

1) Intérêt :

L'intérêt d'un tel capteur réside non pas dans une connaissance précise de la vitesse du vent mais plutôt dans la détermination des **zones de turbulences**. Ainsi, par le biais d'un tel capteur l'on sera en mesure de déterminer l'évolution de la vitesse du vent en fonction de l'altitude, donc de déterminer les zones :

- Peu venteuses
- Moyennement venteuses
- Fortement venteuses

En effet, le capteur ne réagissant pas au vents ascendants, les résultats permettront de déterminer les paliers de formation des vents.



- Le vent se réchauffe par convection au sol (zone orange basse) et monte.
- La rotation de la terre fait circuler l'air chaud (zone rouge) qui se refroidit à la zone orange.
- Le refroidissement fait retomber la masse d'air (zone bleue basse).
- Cet air froid se déplace et se réchauffe.

Cycle de formation des vents

Cahier des charges :

- Fonctions à réaliser :
 - Mesurer la vitesse du vent à altitudes variables.

Cette fonction consiste à transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation. Cependant une solution consiste à la transformer directement en énergie électrique, celle-ci sera exposé plus loin.

- Convertir l'information en données électriques.

L'énergie mécanique obtenue doit être transformée en énergie électrique afin de pouvoir être utilisable.

- Transmettre L'information.

L'information électrique doit pouvoir être transmise, pour ce faire on utilise un émetteur KIWI.

- Contraintes :
 - rafraîchir l'information en un temps raisonnable.

Il s'agit ainsi de limiter le temps de réponse du système donc de diminuer l'inertie du système. Pour cela les matériaux employés devront être le moins dense possible. Cependant, la réalisation doit être aisée et le coût raisonnable, les matériaux choisis pour l'assemblages sont le bois pour la structure à 120° et du plastique pour les coupelles et les engrenages. L'axe quant à lui doit être plus résistant, il sera donc en aluminium.

- large bande passante du capteur.

Les vents sont très forts en haute altitude, ce qui signifie que le capteur doit fournir des informations utilisables dans une très large palette de vents (de 0 à 300 km/h).

- rendre l'information transmissible.

Le KIWI transmet la valeur d'une tension comprise entre 0 et 5 V, ainsi il faut qu'entre 0 et 5V la plage de vitesse des vents soit suffisamment étendue.

2) Mesurer la vitesse du vent à altitudes variables :

- différentes solutions envisagées :
 - hélice horizontale

Cette solution a été abandonnée car son fonctionnement dépend de la direction du vent.

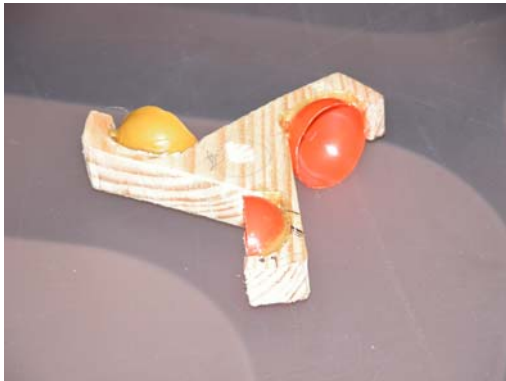
- Anémomètre à fil chaud :

Cette solution est très intéressante car elle évite le passage par l'énergie mécanique et par conséquent est de mise en œuvre extrêmement simple.

Cependant, cette dernière a dû être abandonnée car sa plage de fonctionnement est trop restreinte (0 à 40 m/s) et que son coût est trop élevé.



- Solution retenue :
 - anémomètre à coupelles à axe vertical :



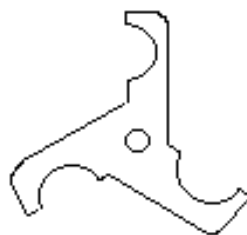
Cette solution a finalement été adoptée car sa mise en œuvre est relativement aisée, son coût de revient modeste et son inertie faible.

Cependant, bien que son inertie soit faible, donc que le temps de réponse à une accélération du vent soit faible, il est beaucoup plus élevé lors d'une décélération de la vitesse du vent.

Quoiqu'il en soit, pour l'estimation des paliers venteux, la précision obtenue devrait être suffisante.

- fabrication : 1 h 30

Découpe d'une forme 'à 120°' dans une planche de bois vert (car le bois séché est trop cassant) à la scie sauteuse, puis à percer un trou au centre (pour l'axe).

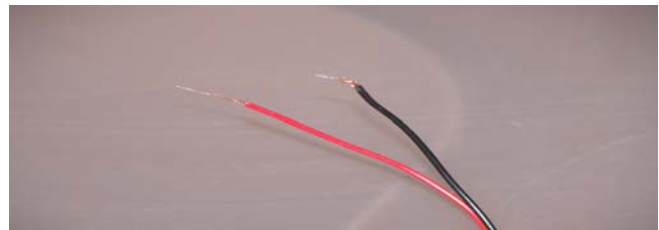


A présent, il s'agit de découper les coupelles en plastique puis de les coller aux emplacements prévus à cet effet. Pour cela on utilise de la colle plastique/bois à séchage rapide.

3) Convertir l'information en données électriques :

Pour réaliser cette fonction l'on se sert d'un moteur électrique.

Cependant, afin de ne pas atteindre la saturation on a recours à un réducteur :



4) Transmettre l'information :

L'énergie électrique du moteur est transmise au KIWI, cependant celle-ci devant être dans la plage 0-5 V et que le moteur est un 0-15 V on adapte une résistance au montage.

5) Assemblage et conclusion :

Les fonctions et contraintes de ce système sont respectées, excepté le rafraîchissement de l'information lors d'une décélération de la vitesse du vent. Or la précision nécessaire à la réalisation des objectifs est relativement modeste, donc ce système convient parfaitement au besoin.



Devient



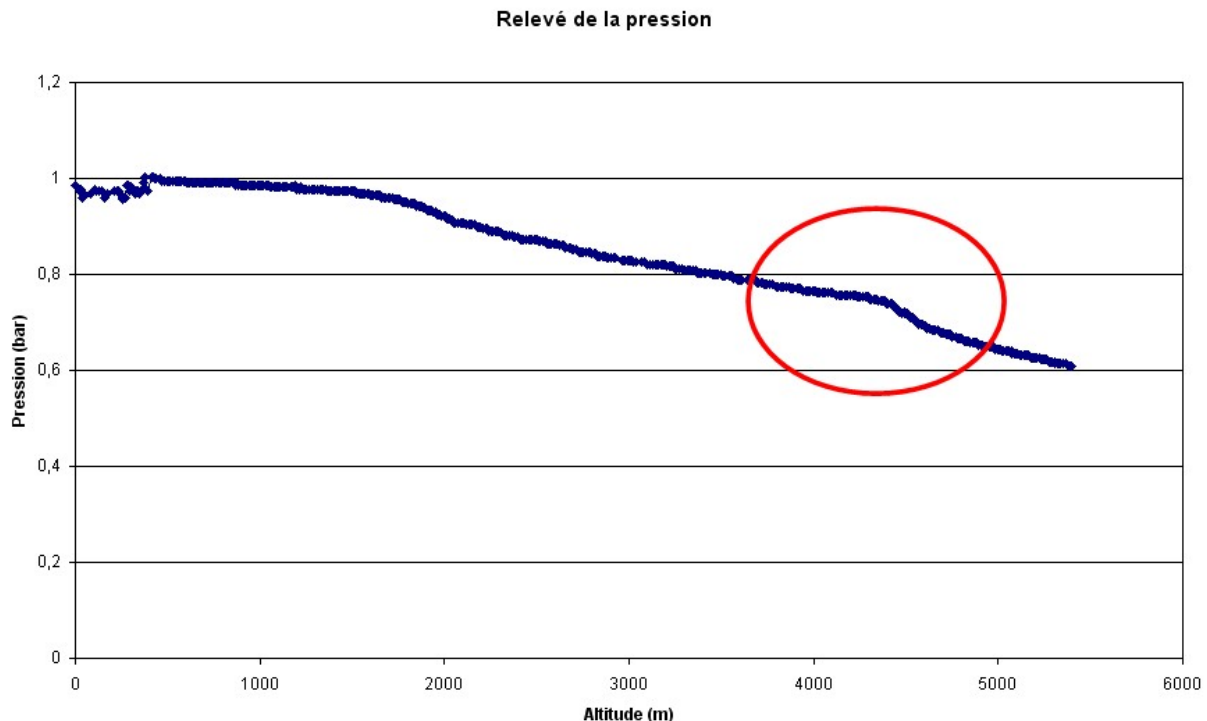
III. Résultats

A. Résultats obtenus par le Kiwi

Le jour du lancement, des problèmes de batteries sont apparus dans notre montage électronique. Elles se déchargeaient anormalement. Cela concernait la batterie alimentant le circuit de mesure de température et du Kiwi. Nous avons d'abord cru que notre circuit était défectueux et nous l'avons donc débranché avant le lancement ce qui explique que nous n'ayons pas de mesure de température.

Finalement, le Kiwi a stopper l'émission de données au bout de 15 minutes ce qui nous permet de penser que c'était en fait le Kiwi qui déchargeait la batterie.

Voici donc les seuls résultats concernant la mesure de pression. En supposant une vitesse d'ascension de 5 m/s on a obtenu la courbe suivante :



On peut constater la chute constante de pression ce qui est en accord avec la théorie décrite plus tôt dans la partie II.D. On voit aussi la remontée de pression (cercle rouge)

B. Résultats obtenus par la prise de photos

Comme prévu, la nacelle inférieure a été larguée au bout de 90 secondes. Nous l'avons récupérée à 2 km du site de lancement, au milieu d'un champ. Voici quelques-unes des photos :



Un lancement mouvementé



Habitation du personnel de l'ENSAM et
une partie du Gymnase



le joli village de Grigy

IV. Conclusion

Organisationnelle : ce projet a la particularité de couvrir des domaines très vastes. En effet, outre l'aspect scientifique, nous avons eu à gérer beaucoup de contacts extérieurs avec Planète Science, avec l'aviation civile, avec les sponsors et les radios amateurs. Nous avons également remarqué qu'il est très difficile de respecter les échéances. D'autre part, l'organisation au sein de l'équipe a nécessité beaucoup de travail. Enfin, il est difficile de prévoir et de faire face aux imprévus, qui peuvent retarder le projet.