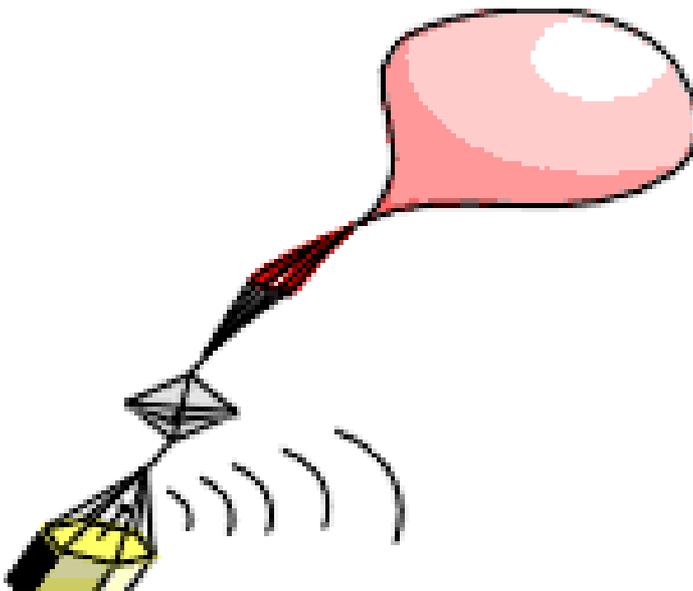


Projet tuteuré GEII 2006-2007

BALLON SONDE METEOROLOGIQUE



LARUE Guillaume

LELOVSKY Thomas

LENGRAND Thomas

VICTOR Xavier

VIDOT Aldo

WOUASSI Guillaume

En partenariat avec Planète Science et le CNES

SOMMAIRE

- I) Présentation
- II) Régulation des tensions d'alimentation
- III) Mesures des températures interne et externe
- IV) Détection des turbulences extérieures
- V) Mesures de la pression
- VI) Mesures de la luminosité
- VII) Conception de la nacelle et implantation des différentes cartes
- VIII) La sous-nacelle
- IX) Etalonnage des capteurs
- X) Autonomie des piles
- XI) La méthode du gonio
- XII) Conclusion
- XIII) Planning de travail

1) Présentation du projet

Dans le cadre des projets d'étude de réalisation 2006/2007 du département Génie Electrique et Informatique Industrielle (GEII) de l'IUT de Troyes, nous avons formé un groupe de projet afin de réaliser un ballon sonde. Un ballon sonde météo est un système utilisé en météorologie et astronautique pour la mesure locale dans l'atmosphère.

Le groupe d'étudiant GEII concerné par ce projet est composé de :

- LARUE Guillaume (capteur de pression, nacelle)
- LELOVSKY Thomas (capteurs de température interne/externe et perturbations, nacelle)
- LENGRAND Thomas (module vidéo, système de largage)
- VICTOR Xavier (module vidéo, système de largage)
- VIDOT Aldo (module vidéo, système de largage)
- WOUASSI Guillaume (capteur luminosité, nacelle)

L'équipe d'enseignants et de techniciens nous ayant aidé :

- M. William KUTYLA (enseignant)
- M. Dominique ROLLET (enseignant)
- M. Patrice MITTEAUX (technicien)
- M. Alexandre REMY (magasinier)

Les différentes parties du ballon sont :

- Le ballon gonflé à l'hélium
- Le parachute anti-torche de la chaîne primaire
- Le réflecteur radar
- La nacelle de mesure avec système de largage
- Le parachute anti-torche de la chaîne secondaire
- Le système vidéo

Avant de se lancer dans la conception de la nacelle, nous avons réfléchi sur les différentes mesures à effectuer. L'émetteur chargé de la transmission des informations vers le récepteur au sol comporte 8 voies, il a donc fallu choisir :

- Mesure des températures interne et externe (2 voies)
- Mesure des perturbations atmosphérique (1 voie)
- Mesure de la pression atmosphérique (1 voie)
- Mesure des rayons infrarouges et ultraviolets (2 voies)
- Alimentation de l'émetteur (2 voies)

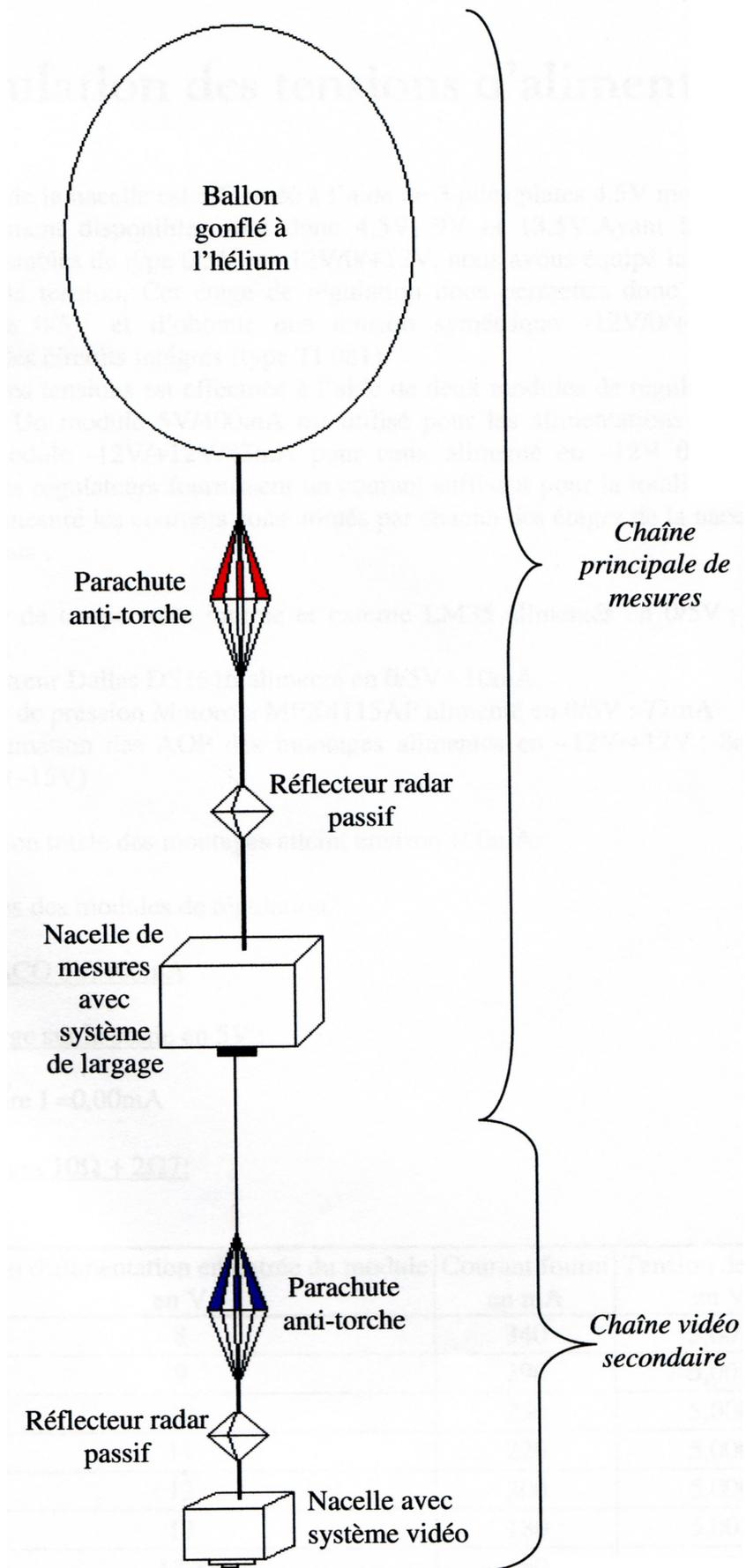
Le ballon sera donc équipé de quatre capteurs permettant de mesurer quatre valeurs : température, perturbations (par l'intermédiaire d'un accéléromètre), pression atmosphérique et luminosité. La transmission des données se fera par l'intermédiaire du module de transmission Kiwi. Après le vol de la nacelle, les données seront analysées pour permettre de tirer des conclusions.

Avant de présenter les différents capteurs effectuant les mesures, nous allons d'abord décrire comment s'effectue le vol de la nacelle.

Voici comment est composée la chaîne d'envol :

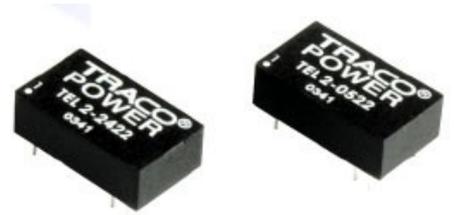
La chaîne principale est constituée de la nacelle comportant la partie électronique pour les mesures, raccordée à un réflecteur radar passif pour être détectée par le contrôle aérien qui gère le secteur aérien où se trouve le ballon, ce dernier étant relié à un parachute anti-torche qui freinera la descente après que le ballon ait éclaté. A cette chaîne principale est raccordée une chaîne secondaire, composée d'un système de transmission vidéo, reliée au système de largage situé sur la nacelle.

L'ensemble est tracté par un ballon gonflé à l'hélium. Il s'élève par l'intermédiaire de la poussée d'Archimède. Avec un volume suffisant, il peut tracter une charge utile ; dans notre cas, cette charge est la chaîne d'envol.



II) Régulation des tensions d'alimentations

La partie électronique du ballon sonde est alimentée par une carte d'alimentation TRACO. Elle nous permet de disposer d'une tension de 0/5V et d'une tension de +/-12V nécessaire à l'alimentation des circuits intégrés (TL082/84, LMC662). Elle est composée de deux modules de régulation : l'un de type 1211 fournissant 5V/400mA et l'autre de type 1222 fournissant +/-12V/83mA. Cette carte est alimentée par trois piles de 4,5V reliées entre elles en série pour augmenter la tension à fournir ; on a donc une tension d'alimentation de 13,5V à l'entrée de la carte. Les alimentations tolérées pour ces modules de régulation vont de 9 à 18V.



Calcul de la consommation maxi de courant de la partie électronique :

Il y a quatre AOp (TL084, 2xTL082 et LMC662) : 13,4mA maxi

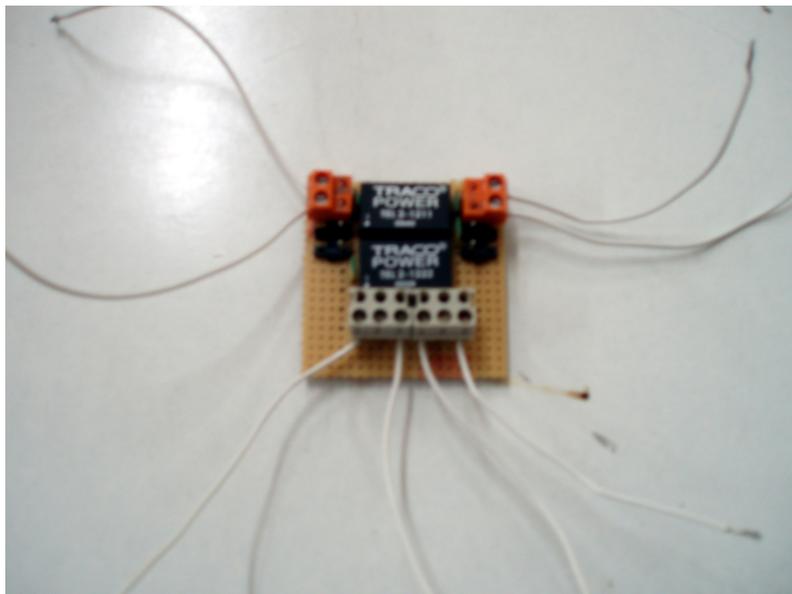
ADXL311 : 1mA maxi

MPX2200 : 6mA

LM35 (x2) : $0,5\mu\text{A}/^\circ\text{C} \Rightarrow 0,045\text{mA} \times 2 = 90\mu\text{A}$ maxi

KIWI : 190mA en moyenne

Consommation totale maxi : 300,4mA



Implantation des composants :

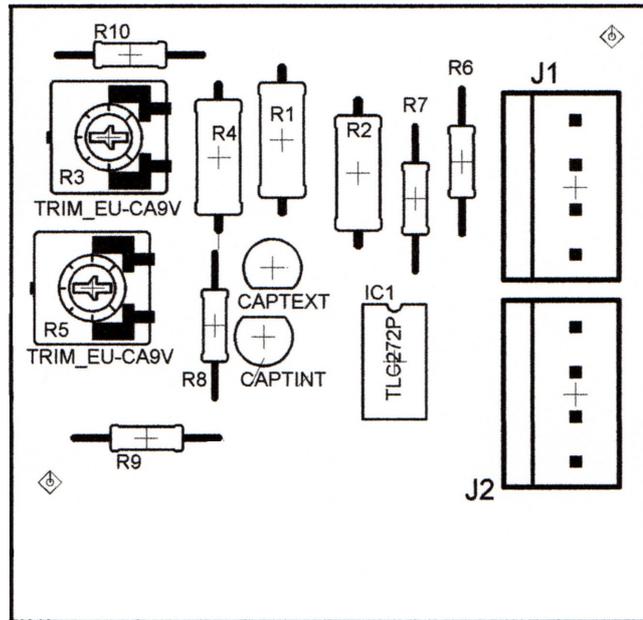
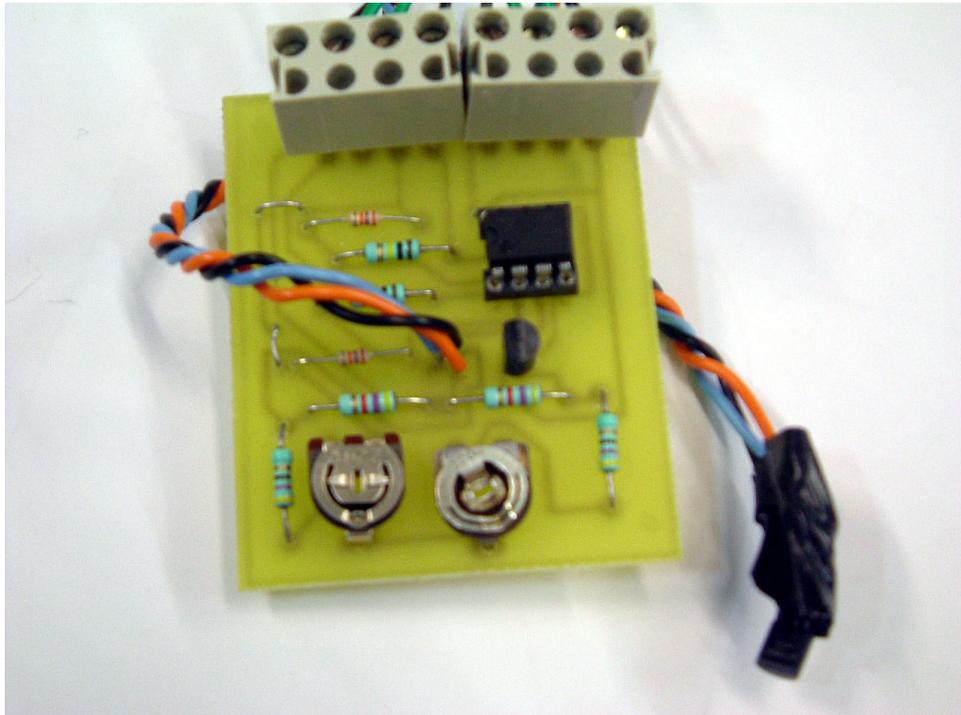


Photo carte :

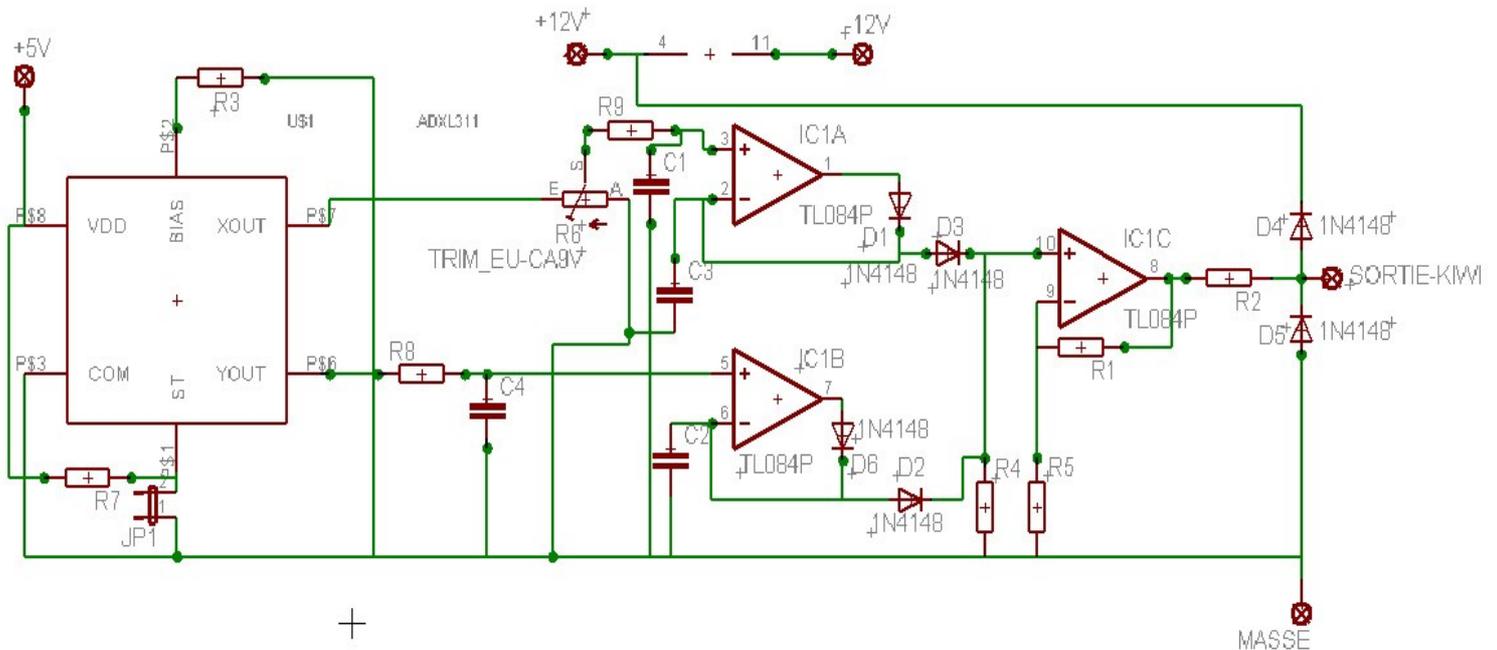
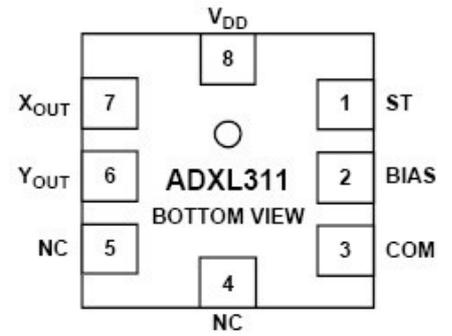


IV) Détection des turbulences extérieures

L'accéléromètre permet de détecter les turbulences et donc les accélérations en « g » endurées par la nacelle. Le capteur est un ADXL 311 de la marque Analog Devices ; sa plage de mesure est +/- 2g. La plaque est alimentée en +/- 12V et le capteur en 0-5V.

Il fonctionne sur deux axes horizontaux : X et Y. L'axe vertical Z est négligé car le ballon montera suivant cet axe. Le circuit utilisé ne tient compte que de la valeur la plus importante des deux axes au moment de la mesure grâce aux diodes D3 et D2.

Le schéma électrique permettant les mesures se présente comme ceci :



Nomenclature des composants utilisés :

Résistances	Valeurs	Condensateur	Valeurs	Ajustable	Valeur
R1	10K	C1	10n	R6	220K
R2	4,7K	C2	10n		
R3	100K	C3	10n		
R4	4,7K	C4	10n		
R5	1M				
R7	10K				
R8	500K				
R9	1M				
Diodes	Types	Amplificateurs	Types	Capteur	Type
D1	1N4148	IC1A	TL084	US1	ADXL311
D2	1N4148	IC1B	TL084		
D3	1N4148	IC1C	TL084		
D4	1N4148				
D5	1N4148				
D6	1N4148				

Implantation des composants :

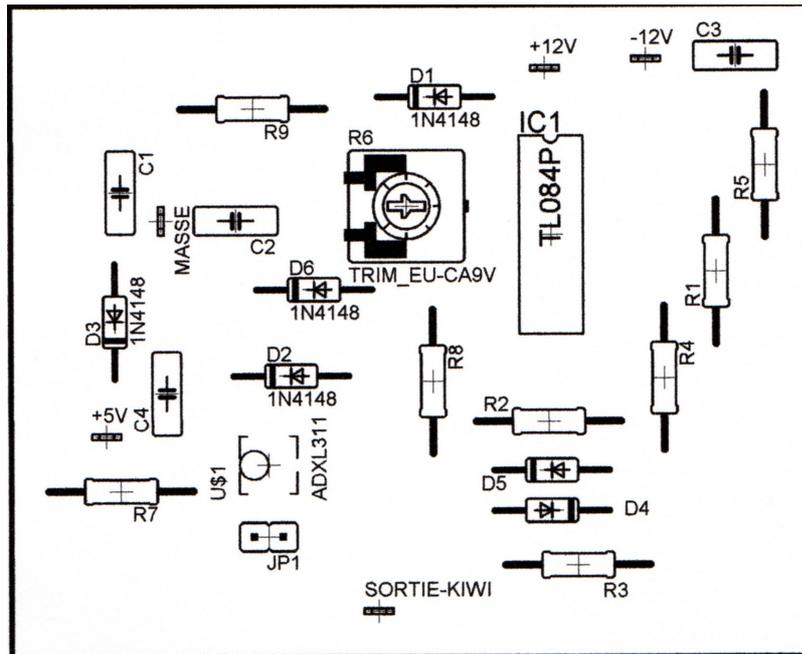
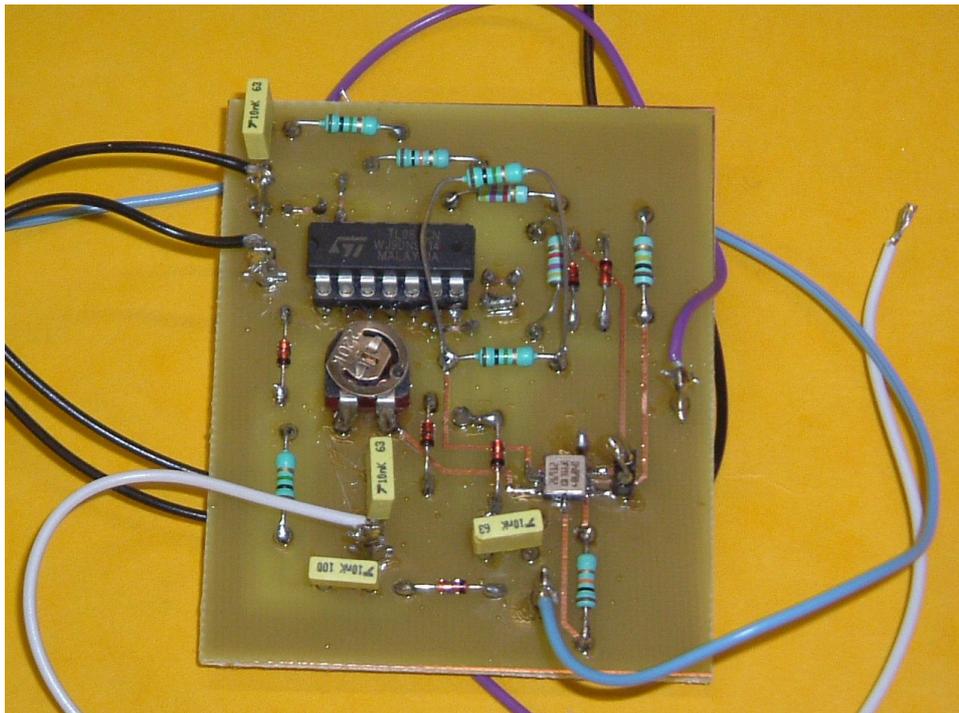
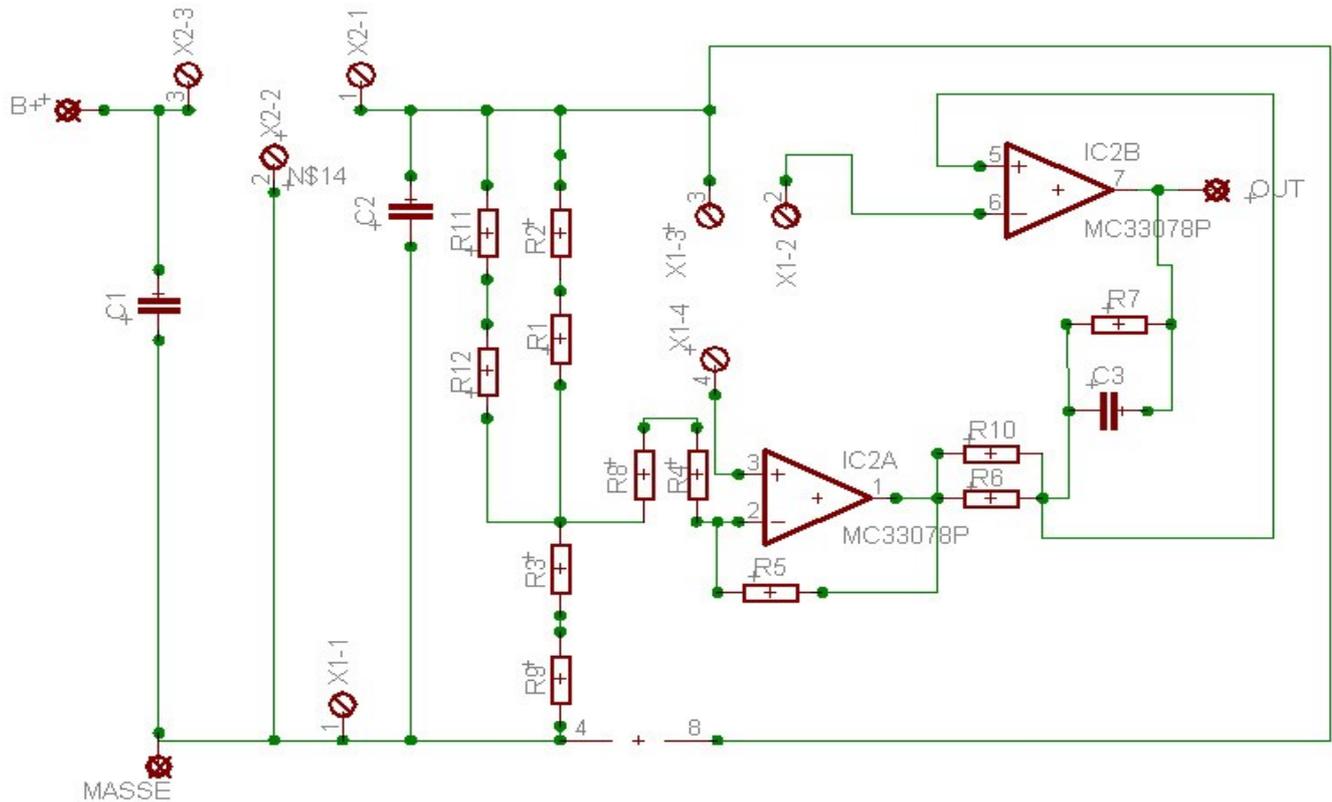


Photo carte :



V) Mesure de la pression

Le manomètre est réalisé autour d'un capteur de pression Motorola, le MPX2200. La mesure de cette valeur nous permet de connaître l'altitude à laquelle se trouve le ballon car la pression diminue au fur et à mesure que le ballon sonde monte en altitude. Il mesurera la pression à l'intérieur de la nacelle qui est la même qu'à l'extérieur car la nacelle ne sera pas totalement hermétique. Il est alimenté en 0V/+12V. Sa plage de mesure s'étend de 0 à 200KPa. Le schéma électrique permettant les mesures se présente comme ceci :



Nomenclature des composants utilisés :

Résistances (à 1%)	Valeurs	Condensateurs	Valeurs	Amplificateurs	Types
R1	30,1K	C1	220n	IC2A	LMC662
R2	9,09K	C2	220n	IC2B	LMC662
R3	1K	C3	100n		
R4	1K				
R5	100				
R6	1,5K				
R7	93,1K				
R8	10K				
R9	324				
R10	1,5K				
R11	4,75K				
R12	22,1K				
Captur	Type	Régulateur	Type	Amplificateurs	
X1-1/2/3/4	MPX2200	X2-1/2/3	7808	IC2A	LM324
				IC2B	LM324

Implantation des composants :

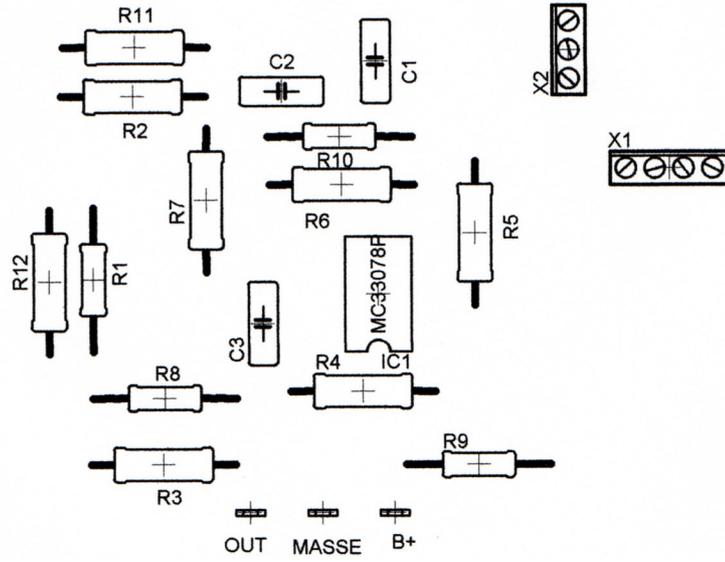
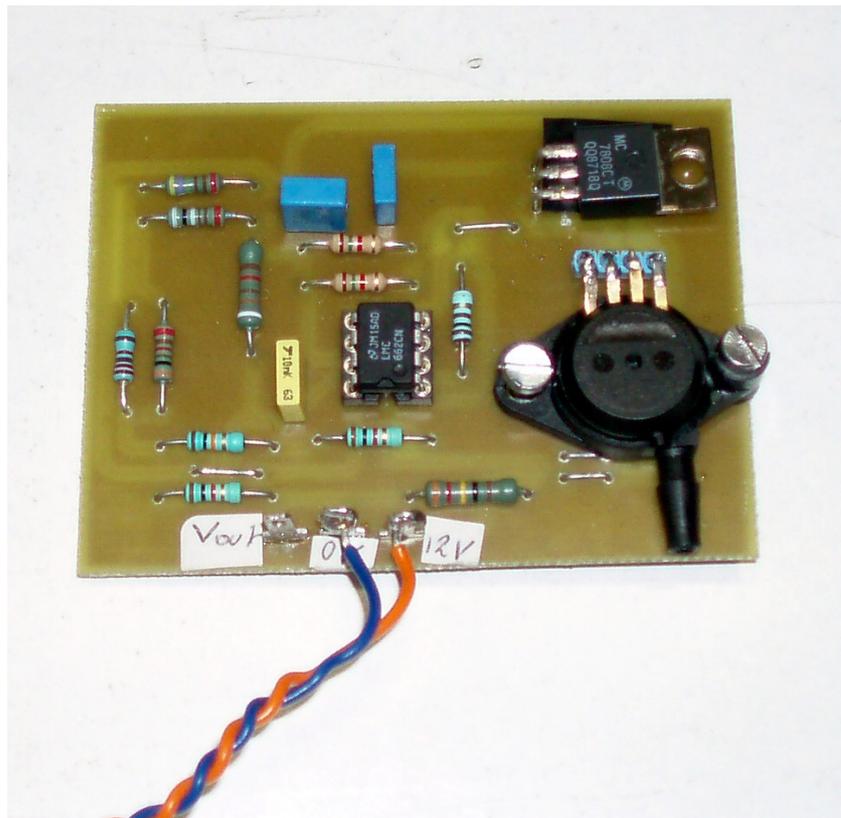
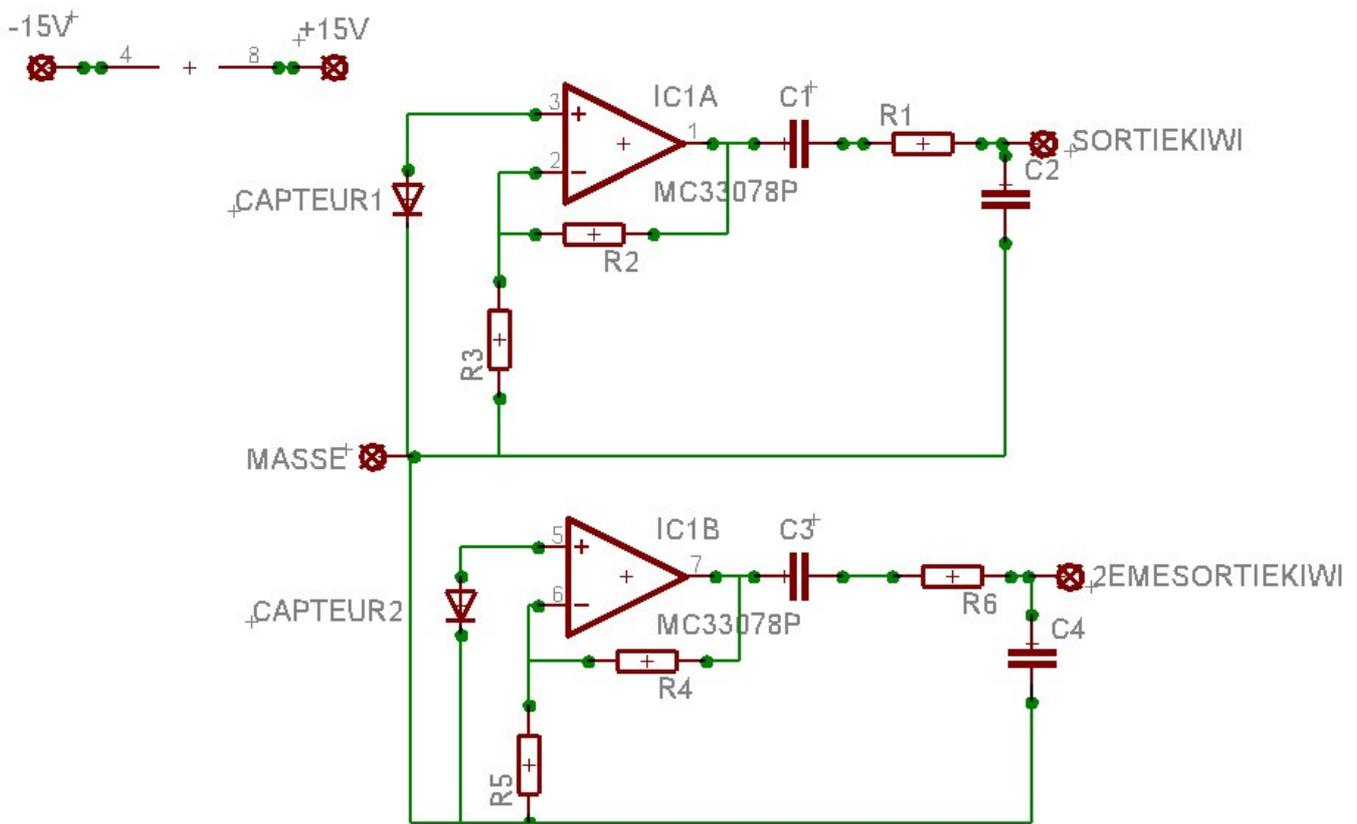


Photo de la carte :



VI) Mesure de la luminosité

Le capteur est une photodiode de type BPW34, nous avons choisi ce modèle car il permet de mesurer les longueurs d'onde sur une plage allant de 350 à 1050 nm ; ainsi nous pourrions mesurer les infrarouges composant le spectre de la lumière dans l'atmosphère mais aussi la comparer sur une plage aussi large que celle de la lumière. Le schéma utilisé nous fournira une réponse en tension de type logarithmique évitant ainsi toute saturation du montage. Le capteur sera composé de deux cellules, la première nous permettra de mesurer les infrarouges et la seconde de faire la comparaison avec la lumière visible. Les premiers tests effectués ont été concluants, avec une lumière de 28 000 lux, le capteur nous a fournit une tension de 3.5V sachant que l'intensité lumineuse en haute altitude peut être supérieur à 300 000 lux.



Nomenclature des composants utilisés :

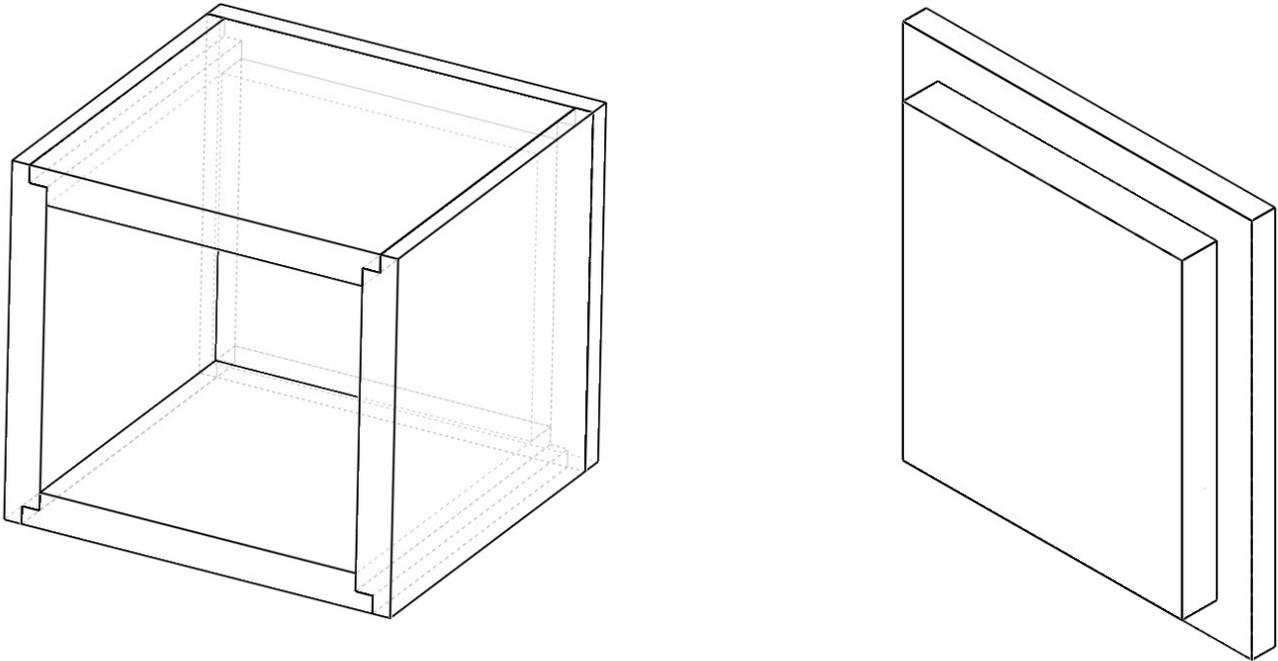
Résistances	Valeurs	Condensateurs	Valeurs
R1	2,2k	C1	4,7n
R2	10k	C2	4,7n
R3	10k	C3	4,7n
R4	10k	C4	4,7n
R5	10k		
R6	2,2k		
Capteurs	Types		
CAPTEUR1	Photodiode BPW34		
CAPTEUR2	Photodiode BPW34		

VII) Conception de la nacelle et implantation des différentes cartes

La nacelle abrite la partie électronique permettant les différentes mesures à effectuer ainsi que la transmission des informations. L'intérieur de la nacelle doit être bien isolé de l'extérieur afin d'éviter des températures internes trop basses qui feraient chuter rapidement l'énergie des piles ce qui réduirait l'autonomie de mesure et de réception des données.

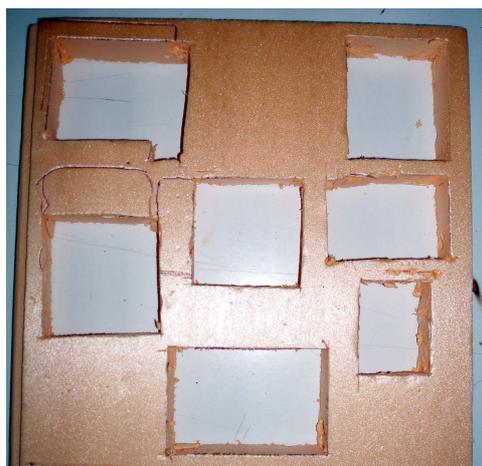
De façon générale, la nacelle est composée de six parties en matière polystyrène dure. Le cahier des charges nous impose de ne pas avoir de cotes inférieures à 30 cm et un poids maximum de 2,5kg.

La nacelle et le couvercle dessinés sous SolidWorks 2003 :



Pour des raisons d'isolation, les parois de la partie interne sont recouvertes d'une couche isothermique afin de limiter les échanges d'atmosphère interne et externe.

Les cartes électroniques sont calées dans des emplacements découpés sur une plaque qui sera placée au fond de la nacelle.



Des trous sont percés afin de faire passer les capteurs de température externe et de luminosité ainsi que l'antenne du module Kiwi. Un système d'interrupteur est installé pour déclencher l'alimentation au dernier moment.

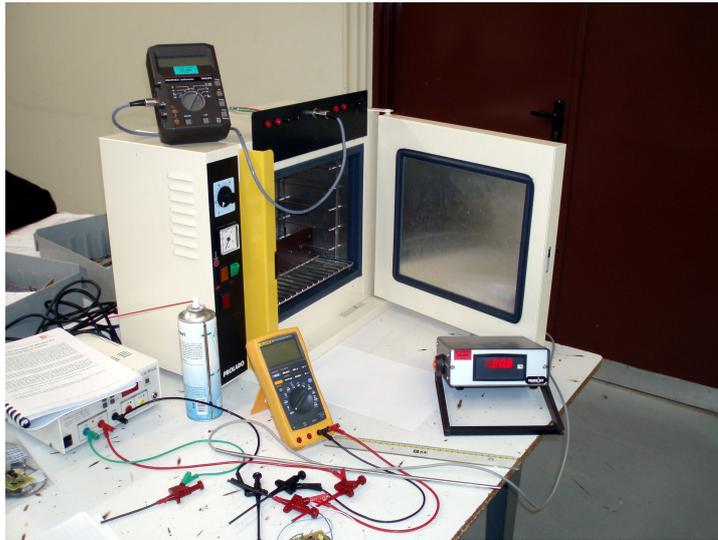
VIII) La sous-nacelle

La sous-nacelle fait partie de la chaîne secondaire. Elle est équipée d'une caméra embarquée avec une transmission de 2,4GHz. Elle sera larguée environ 30sec après le lancer grâce à un système électromécanique. Une télévision reliée à un magnétoscope permettra de visualiser et d'enregistrer la vidéo.

IX) Etalonnage des capteurs

- Capteur de température

L'étalonnage s'est effectué avec l'aide d'une armoire chauffante afin de tester l'évolution de la tension en fonction de la température. Pour les températures négatives, de l'eau avec des glaçons a été utilisée. Pour les très basses températures (de l'ordre de -40°C) une bombe de froid spéciale a été employée.



En fonction des résultats obtenus, une courbe d'étalonnage a été tracée. Son équation nous permet donc de connaître directement la température en fonction d'une tension donnée :

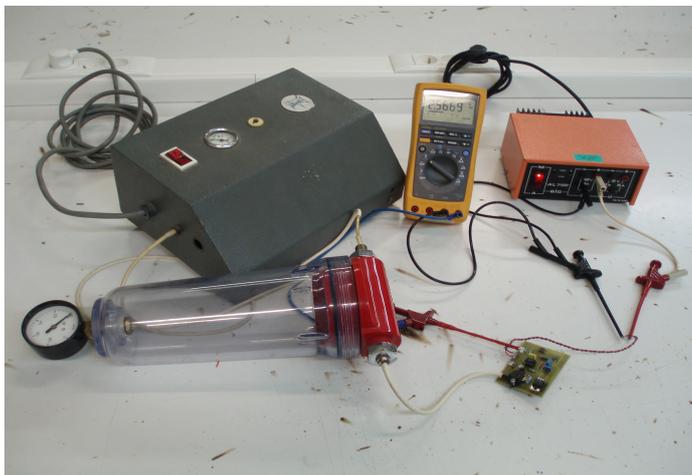
$$\begin{aligned} T &= 26,83V - 179 \\ V &= (T+179) / 26,83 \end{aligned}$$

- Capteur de perturbations (accéléromètre)

Il n'y a pas eu d'étalonnage car le but est d'observer la perturbation du signal qui représente en réalité les mouvements et chocs détectés par le capteur. Nous connaissons seulement les grandes valeurs (minimum et maximum) ; soit $-2G \Rightarrow \sim -1,3V$, $0G \Rightarrow 2V$, $+2G \Rightarrow \sim 5,3V$ (valeurs approximatives)

- Capteur de pression

Afin de s'assurer que le capteur de pression effectue des mesures correctes et cela en fournissant des tensions de sortie comprises entre 0 et 3V, nous avons effectué des tests visant à vérifier le bon fonctionnement du capteur et les niveaux des tensions fournies par ce dernier dans l'étendue de mesure. Pour simuler une dépression atmosphérique, nous avons utilisé un système compresseur "cloche a dépression" dont les relevés sont ci dessous.



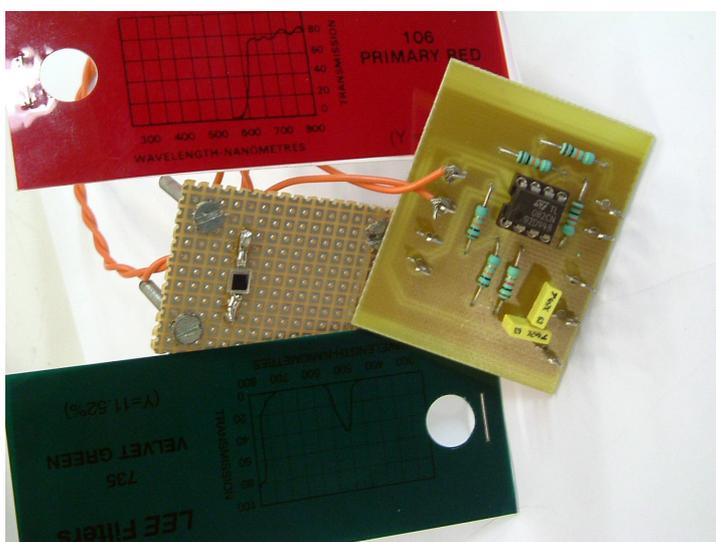
En fonction des résultats obtenus, une courbe d'étalonnage a été tracée. Son équation nous permet donc de connaître directement la température en fonction d'une tension donnée :

$$P_{ext} = 1013 - ((2,567 - V_{out} (\text{mesurée})) / 2.10^{-3})$$

$$V_{out} (\text{mesurée}) = 2,567 - 2.10^{-3}(1013 - P_{ext})$$

- Capteur de luminosité

Ayant une réponse logarithmique en sortie, l'étalonnage est assez difficile ; c'est pourquoi nous avons choisis de faire quelques mesures préalables qui nous permettront de mieux interpréter les résultats que nous obtiendrons le jour du lâcher.

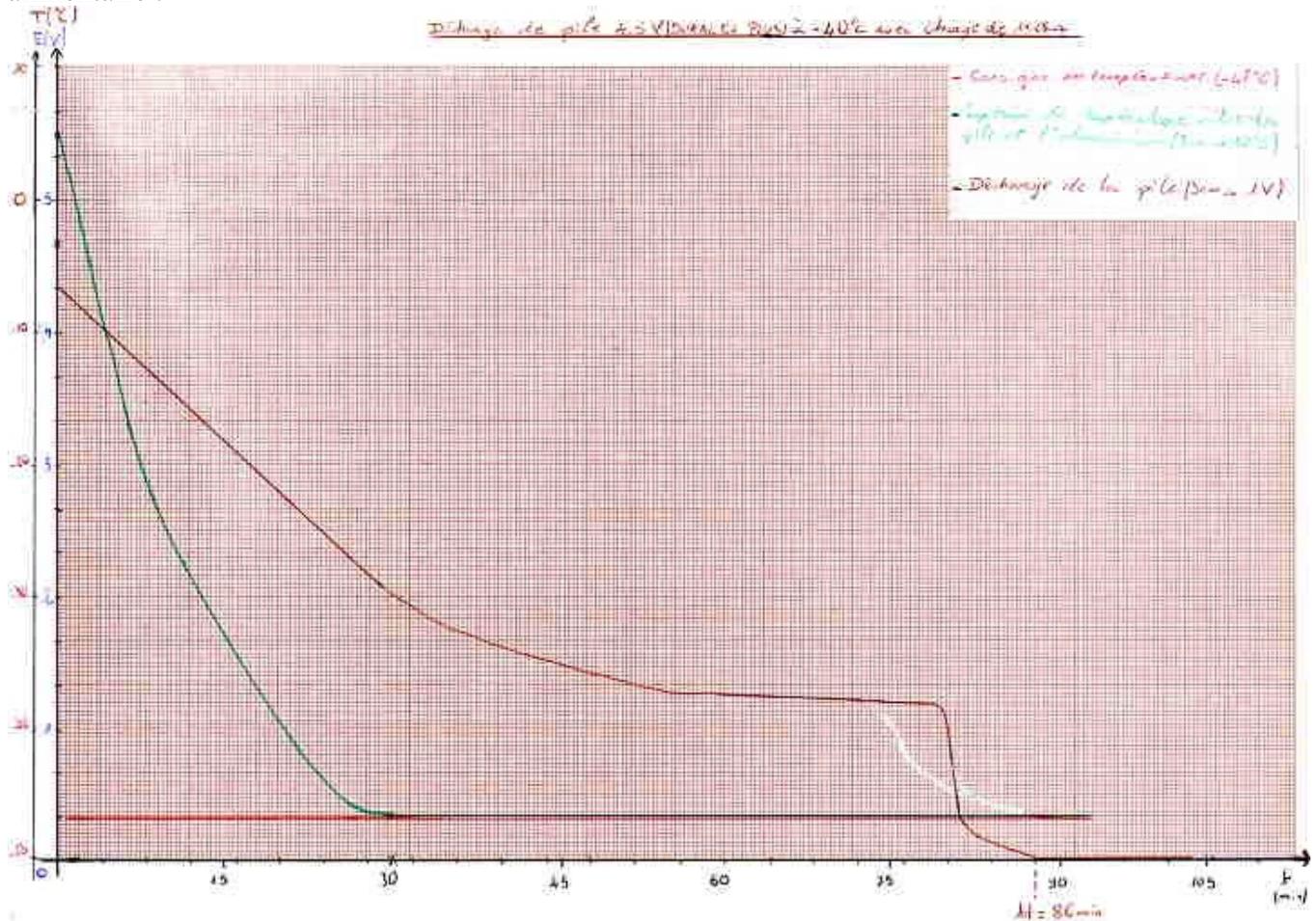


En fonction des résultats obtenus, une courbe d'étalonnage a été tracée. Son équation nous permet donc de connaître directement la luminosité en fonction d'une tension donnée.

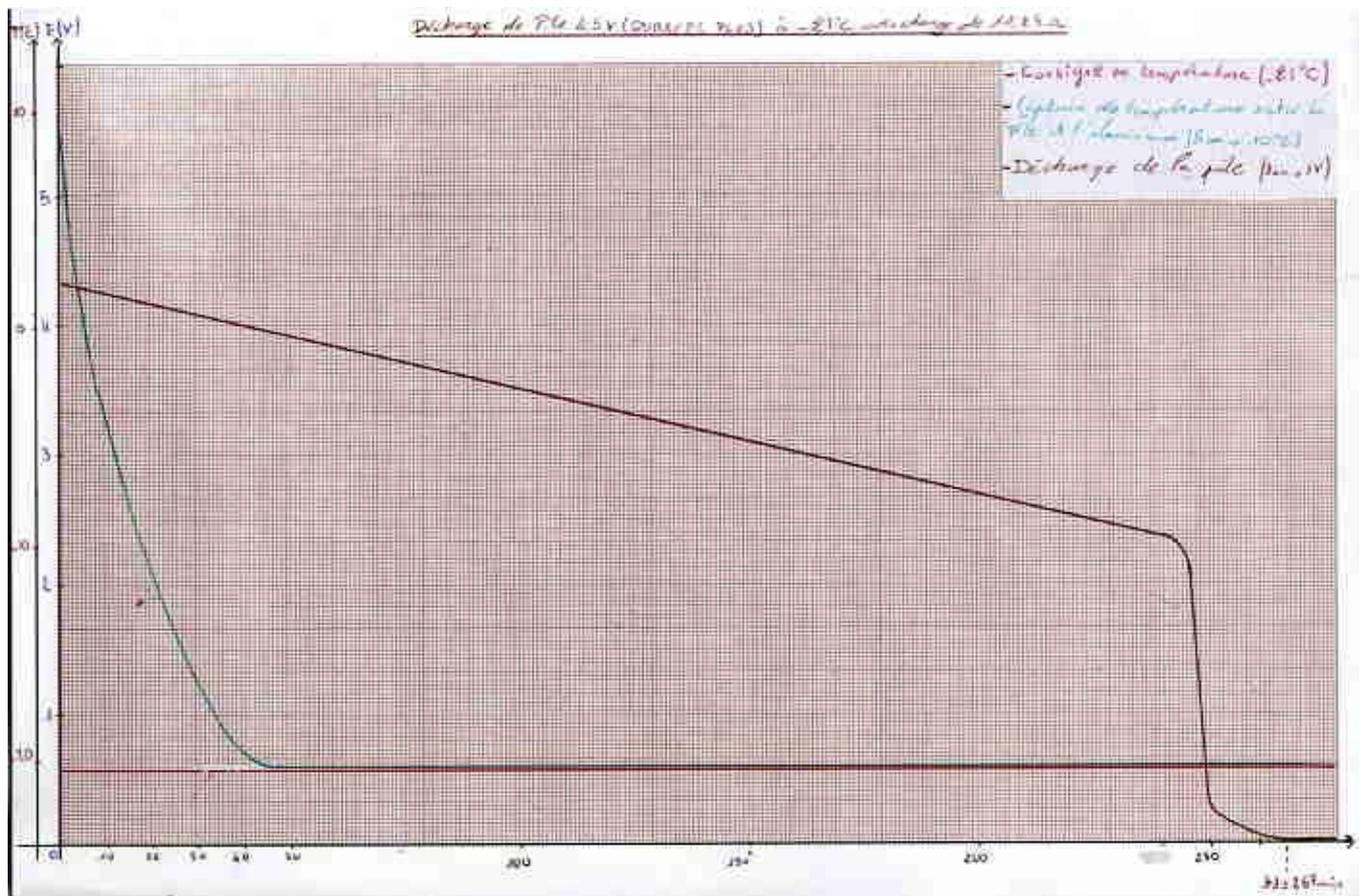
IX) Autonomie des piles

La source d'énergie de la partie électronique est un bloc de trois piles 4,5V reliées en série pour augmenter la tension ; nous avons donc une tension d'alimentation de 13,5V. Exposées à des températures très basses, les piles perdent rapidement leur énergie, c'est pourquoi nous les avons enveloppées dans une matière isolante avec en plus des chauffettes permettant de fournir de la chaleur. Pour tester leur autonomie nous les avons soumises à un environnement froid (frigo spécial), cela nous a permis d'établir une courbe montrant l'évolution de la baisse de tension des piles.

Le test a été effectué à une température de -40°C pour une pile de 4,5V entourée dans de l'aluminium alimentaire :



Nous avons également testé sous -20°C et nous avons constaté que l'autonomie des piles correspondait bien à celle fixée dans le cahier des charges, c'est-à-dire supérieure à 3h.



X) La méthode du gonio

Pour localiser le ballon une fois au sol, on utilise la radiogoniométrie qui permet de déterminer la direction d'arrivée d'une onde électromagnétique.

XI) Conclusion

Un système GPS avait été envisagé pour permettre une récupération plus rapide mais l'idée a été abandonnée. Durant son envol, le ballon sera suivi à la longue vue. Ce projet est une expérience très intéressante qui nous a permis de nous rendre compte des différentes phases dans la création du système embarqué d'un ballon sonde météorologique (nacelle + sous nacelle). Il a fallu une certaine cohésion d'équipe dans le travail et un investissement réparti de la part de chacun pour arriver au terme de ce projet. Cela nous a permis de prendre conscience de nos faiblesses dans le travail mais aussi de nos qualités et donc de nous améliorer.

XII) Planning de travail

Pour concevoir le projet, il a fallu fixer un planning :

- Conception des cartes électroniques pour les différents capteurs ; de l'élaboration du schéma jusqu'à l'étalonnage du capteur => 2mois
- Conception de la nacelle (fabrication, câblage des cartes et essais de transmission) => 4 semaines
- Conception de la sous nacelle => 2 semaines
- Programmation GPS => 1mois (abandonnée)
- Etude de la radiogoniométrie pour la récupération => 2 semaines
- Préparation et organisation du lancement => 1 semaine
- Prévision météo => jour du lancement