

# Rapport OSE

## Ballon Sonde

*Positionnement inertiel, GPS, temperature, pression, photos*

**E.Bamard, G.Doudrich, J.Gutkin, F.Jaudronnet, F. Le  
Bruchec, J.Leveneur, A. Tasse, A. Vinot**

**2006-2007**

## SOMMAIRE

### Présentation

Présentation du projet ..... 6

Présentation de l'équipe ..... 6

### Le projet

But ..... 8

Les expériences ..... 8

Description rapide ..... 8

*Positionnement* ..... 8

*Mesures de températures et de pression* ..... 8

*Prise de photos* ..... 8

Planète Sciences ..... 9

### Déroulement du projet

Les grandes dates ..... 10

### Le ballon

La chaîne de vol et le déroulement de vol ..... 11

Le ballon ..... 11

Le parachute ..... 12

Le réflecteur radar ..... 13

La nacelle ..... 13

Déroulement du vol ..... 13

La nacelle ..... 16

Construction physique ..... 17

*Contraintes du cahier des charges* ..... 17

*Forme* ..... 17

<i>Matériaux utilisés</i> .....	17
<i>L'isolation</i> .....	18
Organisation dans la nacelle.....	20
<i>La modélisation 3D</i> .....	20
<i>Les tiroirs</i> .....	20
<i>Le Poids et la taille</i> .....	21
<i>Les perturbations électromagnétiques</i> .....	21
<i>L'équilibrage</i> .....	21
La chaîne de télémesure .....	22
Le PIC BASIC 3B.....	22
<i>Les Entrées/Sorties</i> .....	22
<i>La programmation</i> .....	23
<i>Le programme du PICBASIC</i> .....	23
Le FSK .....	24
Le Kiwi .....	25
<i>La trame d'émission</i> .....	25
<i>Utilisation du Kiwi</i> .....	26
Le GPS.....	27
<i>Informations générales</i> .....	27
<i>Le protocole nmea</i> .....	27
<i>Principe</i> .....	27
<i>Choix de la trame</i> .....	28
<i>Visualisation Des trames en général</i> .....	29
Alimentation de la nacelle.....	29
<i>Généralités</i> .....	29
<i>Alimentation</i> .....	30

<i>Cahier des charges</i> .....	31
<i>Calcul de la capacité de la source d'énergie</i> .....	31
<i>Courant maximum</i> .....	31
<i>Choix des piles et des branchements</i> .....	31
<i>Circuit de contrôle</i> .....	32
<b>RECEPTION ET ANALYSE des donnees</b> .....	<b>32</b>
Le developpement d'un logiciel.....	32
La structure du programme.....	33
Les classes.....	33
Description des classes utilisees .....	34
<b>Les expériences</b>	
<b>Mesure de température</b> .....	<b>38</b>
Observation .....	38
But de la mesure .....	38
<i>La température extérieure de la nacelle</i> .....	39
<i>La température à l'intérieur de la nacelle</i> .....	39
Choix des capteurs .....	40
Mise en œuvre.....	41
<i>Schéma électrique</i> .....	41
<i>Calcul d'erreur sur la température</i> .....	42
<b>Mesure de pression</b> .....	<b>44</b>
But de la mesure .....	44
Choix des capteurs .....	44
Mise en œuvre.....	46
<i>Conditionnement du signal</i> .....	46
<i>Etalonnage du capteur</i> .....	48

Photos .....	49
autopositionnement .....	50
But de la mesure .....	50
Principe de l'auto positionnement .....	50
Choix des capteurs .....	51
Mise en œuvre.....	52
<b>Le lacher</b>	
Date prévue.....	53
Lieu.....	53
Aide d'un aérotechnicien .....	53
Difficultés rencontrées.....	54
Choix de l'expérience principale.....	54
Difficultés avec planete science.....	54
Résultat attendu .....	54
Travail de groupe .....	54
Financement et coût du projet.....	55
<i>Recherche de financement</i> .....	55
<i>Coût du projet</i> .....	56
<b>Conclusion</b>	
<b>Bibliographie</b>	
<b>Annexes</b>	
Annexe info .....	58
Annexe alimentation.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Annexe GPS .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Annexe taxe apprentissage .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Annexe courrier taxe apprentissage.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre tuteur Jérôme Donnard qui nous a apporté son soutien tout au long du projet. Nous remercions aussi Ms. Viazzo et Sollicec pour leur aide en simulation de thermique, Ms. Klein et Rauch, les ateliers de mécanique et d'électronique de Subatech pour leur soutien logistique et enfin bien sûr l'association Planète Sciences en particulier M. Allain, M. Riché et Mme Hurel.

## PRESENTATION DU PROJET

Le projet OSE (projet d'ouverture Scientifique et Technique) est le premier travail de groupe d'importance dans notre formation. D'importance par sa durée : d'octobre à juillet, d'importance par le nombre de personnes impliquées : une équipe de 8 personnes, encadrée par un tuteur, un aérotechnicien et des membres de l'association Planète Sciences. Il est aussi important parce que nous nous sommes engagés vers des disciplines que nous ne maîtrisons pas spécialement au début : électronique numérique, fonctionnement de microcontrôleurs, mécanique, thermique, etc.

Le projet OSE a été lancé au mois d'octobre et nous nous sommes tout de suite dirigés vers la conception d'un objet capable de « s'envoler ». Après recherches, nous nous sommes aperçus que la fabrication et le lancement de fusées présentaient certains aspects frustrants : altitude atteinte assez faible et durée du vol très courte, alors que ceux de ballons sondes étaient au contraire très attractifs : point culminant à la frontière de l'Espace et durée de vol suffisante pour mener des expériences (2-3h). Le projet a été validé et nous avons pu commencer le travail.

Nous avons donc dû constituer une équipe qui concevrait et lâcherait un ballon sonde dans lequel se trouveraient des expériences. Après renseignements nous avons appris qu'il était possible et nécessaire pour ce faire de travailler avec l'association Planète Sciences. Celle-ci nous fournissant l'enveloppe, l'hélium et la chaîne de vol. Elle nous apporte aussi l'aide nécessaire au lâcher et les autorisations nécessaires auprès de l'Aviation Civile.

## PRESENTATION DE L'EQUIPE

Vue l'importance du projet nous avons demandé à pouvoir constituer une équipe double de 8 personnes. Cette demande a été acceptée. L'équipe projet de 8 membres s'est alors répartie les tâches nécessaires à la conception. Une équipe s'occupera de la partie « nacelle », à savoir conception, modélisation thermique et fabrication de la nacelle, et télémétrie. L'autre équipe s'occupera de la partie « expériences », à savoir expérience principale que nous déterminerons plus tard, mesures de températures et de pression et prise de photos.

Les membres de l'équipe sont :



1 : Emilie Bamard



2 : Greg Doudrich



3 : Jonathan Gutkin



4 : François Jaudronnet



5 : Fanny Le Bruchec



6 : Jérôme Leveueur



7 : Aurélien Tasse



8 : Alexandre Vinot

Jérôme Donnard, doctorant du laboratoire SUBATECH, a été désigné comme tuteur pour notre projet. Il avait déjà participé il y a 3 ans à un projet OSE en association avec Planète Sciences, en l'occurrence la fabrication d'une fusée.

Un chef de projet a aussi été désigné : Aurélien Tasse. Deux chefs d'équipes l'ont aussi été : Jérôme Leveueur pour l'équipe « Expériences » et Alexandre Vinot pour l'équipe « Nacelle ».

# LE PROJET

## BUT

Le but de notre projet était d’emmener une expérience le plus haut possible dans l’atmosphère. En effet, à cette altitude les conditions sont tout à fait différentes de celles au sol. La pression est très faible, la température très variable, les vents très rapides, le rayonnement lumineux très fort, les UV ne sont presque plus filtrés par l’atmosphère, le ciel est noir comme dans l’Espace et on peut commencer à apercevoir la rotondité terrestre. Forts de ces constatations nous avons dû nous déterminer les expériences à embarquer. Nous avons donc passé les mois de novembre et de décembre à cette recherche. Les expériences finalement choisies ont été : le positionnement inertiel et GPS de la nacelle, la mesure de la température, celle de la pression et la prise de photos numériques. Ces choix seront expliqués plus en détail dans la suite.

## LES EXPERIENCES

### DESCRIPTION RAPIDE

#### POSITIONNEMENT

Le positionnement constitue l’expérience principale de notre projet. Il présente plusieurs intérêts : le premier est bien sûr de pouvoir retrouver la nacelle que nous avons envoyée, le second est de découvrir les différences que l’on peut trouver entre un positionnement inertiel déterminé par des gyroscopes et des accéléromètres avec celui déterminé par GPS. Les mesures effectuées nous permettront de déterminer l’altitude atteinte, la vitesse des vents (Jet Stream). Enfin, la conception en elle-même d’un module de positionnement inertiel constitue une activité passionnante mais complexe.

#### MESURES DE TEMPERATURES ET DE PRESSION

Les mesures de températures et de pression auront deux buts essentiels. Premièrement, ils devront nous permettre de comparer nos données à celles obtenues précédemment par d’autres ballons. Cela nous permettra de confirmer ou d’infirmes les données envoyées par le GPS et celles du module de positionnement inertiel. Les mesures de températures (intérieure et extérieure à la nacelle) devront nous permettre de confronter notre modélisation numérique de la thermique de la nacelle à la réalité. Elles permettront aussi de corriger les valeurs données par les accéléromètres et les gyroscopes.

#### PRISE DE PHOTOS

La prise de photos devra nous permettre d’obtenir des clichés de la Terre vue du ciel. Nous souhaitons aussi essayer de déterminer le rayon de celle-ci grâce à ces dernières. Lors de nos recherches

nous n'avons pas trouvé beaucoup de photos de qualité prises à cette altitude. Nous espérons donc que les nôtres viendront pallier ce manque.

## PLANETE SCIENCES

Afin d'envoyer un ballon sonde dans l'atmosphère ou faire décoller une fusée expérimentale, il est nécessaire d'être partenaire avec l'association Planète Sciences.

« Planète Sciences est une association loi 1901 qui depuis 1962 propose aux jeunes des activités scientifiques et techniques expérimentales, dans le cadre des loisirs et du temps scolaire, avec le soutien de grands organismes scientifiques et industriels tels que le CNRS, le CEA, ainsi que différents ministères ». (source : Wikipédia)

Les principales activités sont la Coupe de France de Robotique, l'astronomie et le support de clubs et classes dans des activités scientifiques diverses.

Le secteur Espace de l'association apporte de l'aide aux clubs et classes qui désirent envoyer des fusées ou des ballons sondes. Il est financé à 75% par le CNES Centre National d'Etudes Spatiales. C'est le CNES qui fournit le matériel nécessaire aux expériences : enveloppes, chaînes de vol et émetteurs de télémétrie pour les ballons, et moteurs pour les fusées.

Nous nous sommes donc inscrits après avoir repris le nom de l'ancien club de l'Ecole : Minespace.

# DEROULEMENT DU PROJET

## LES GRANDES DATES

Voici les principales dates qui ont marquées notre projet :

### Octobre :

- Validation du sujet
- Constitution de l'équipe
- Recherche d'une expérience principale
- Inscription Planète Sciences à Paris (La Vilette, Cité des Sciences)

### Novembre-Décembre :

- Recherche documentaire et acquisition de compétences dans nos domaines respectifs
- Répartition des tâches

### Janvier :

- Formation télémétrie à Toulouse (Greg et Emilie)
- Analyse de la documentation et début de conception de nos éléments
- Rédaction de l'Avant Projet Détaillé

### Février :

- Conception
- 2<sup>e</sup> Rencontre Club Espace à Ris Orangis, rédaction du dossier technique du ballon pour Planète Sciences

### Mars :

- Commande et réception des composants : thermistances, capteur de pression, polystyrène, Pic
- Début de la fabrication de la nacelle
- Test sur les circuits, étalonnage

### Avril :

- Construction de la nacelle,
- Programmation de la chaîne de télémétrie
- Fabrication des circuits électroniques
- Rencontre avec Yvan Allain, l'aérotechnicien qui nous aidera à réaliser le lâcher.

**Mai :**

- Développement et construction

**Juin :**

- Fin de construction et tests
- Finalisation du rapport
- Soutenance

**Juillet :**

- Lâcher du ballon
- Analyse des données reçues
- Envoi du rapport final à Planète Sciences

Un diagramme de Gantt de nos activités tout au long du projet se trouve en annexe.

## LE BALLON

Cet ensemble est intégralement fourni par l'association Planète Sciences et plus précisément par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). Il nous aurait été sinon très difficile de le réaliser par nos propres moyens. Seul la nacelle reste à concevoir mais c'est l'élément principal contenant les expériences.

### LA CHAÎNE DE VOL ET LE DEROULEMENT DE VOL

#### LE BALLON

Le ballon est une enveloppe de latex de quelques microns d'épaisseur gonflée avec de l'hélium, c'est le "moteur" qui entraîne les autres éléments. Ce moteur fonctionne grâce à la poussée d'Archimède, le gaz se trouvant dans l'enveloppe (hélium) étant plus léger que l'air.

Selon le principe de la poussée d'Archimède, il est soumis à une force

- égale au poids du volume d'air occupé.
- dirigée vers le haut.

A partir d'un certain volume d'hélium, cette force sera supérieure au poids du ballon : il montera. Avec un volume d'hélium suffisant, il peut "tracter" une charge dite "utile". Plus il monte, plus la pression de l'air diminue. L'hélium occupe alors de plus en plus de volume : le

ballon se dilate.

A haute altitude le ballon se dilate de plus en plus. A force de se dilater, le ballon va atteindre son point de rupture et va éclater.

## LE PARACHUTE

Il assure la redescende de la nacelle et permet ainsi de récupérer le ballon en assez bonne état en réduisant la vitesse de la chute.

Le parachute CNES pour ballon est un parachute hémisphérique réalisé en 8 fuseaux et possédant 8 suspentes. Sa forme est une calotte de sphère de 1.33 mètres de diamètre, tronquée en haut à la hauteur du parallèle  $83.5^\circ$  pour obtenir la cheminée et tronquée en bas à la hauteur du parallèle  $20^\circ$  pour obtenir le bord d'attaque.

L'envergure est de 1.25 m. Le maître couple est de 1.23 m<sup>2</sup>. Le diamètre de la cheminée est de 0.15 m. Le  $C_x$  est évalué à 1.4 ce qui permet l'atterrissage d'une masse de 2.5 kg à une vitesse d'environ 5 m/s. On rappelle que le maître couple est la surface perpendiculaire au déplacement qui induit donc une traînée que l'on évalue par un coefficient de traînée : le  $C_x$ .

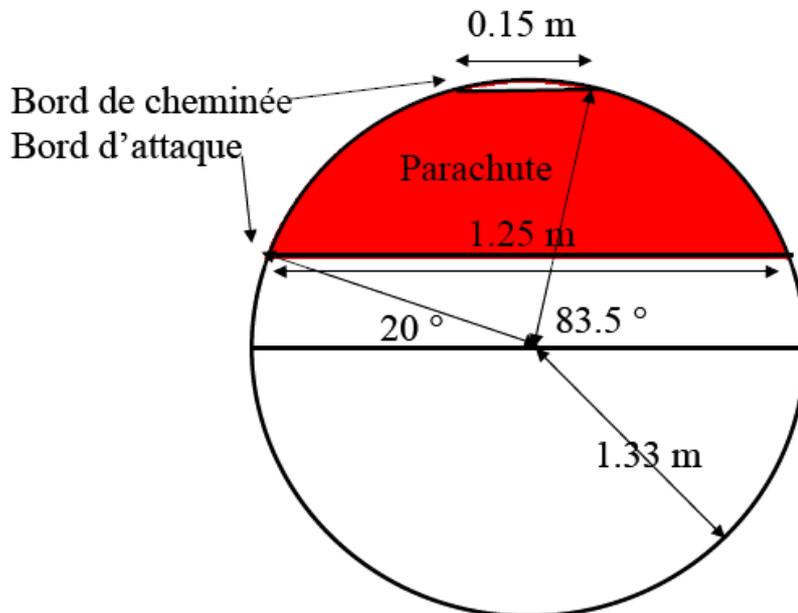


Figure 1 : Plan du parachute

Le parachute est destiné à être inséré en sapin pré-déployé dans la chaîne de vol. Les suspentes sont réalisées avec du cordeau de maçon tressé dont la résistance mécanique est de 230 N.

Le parachute est équipé d'un anneau de pré-déploiement (anneau anti-torche) de 25 cm de diamètre qui supprime les risques de torche. Le montage complet du parachute est décrit par le schéma suivant :

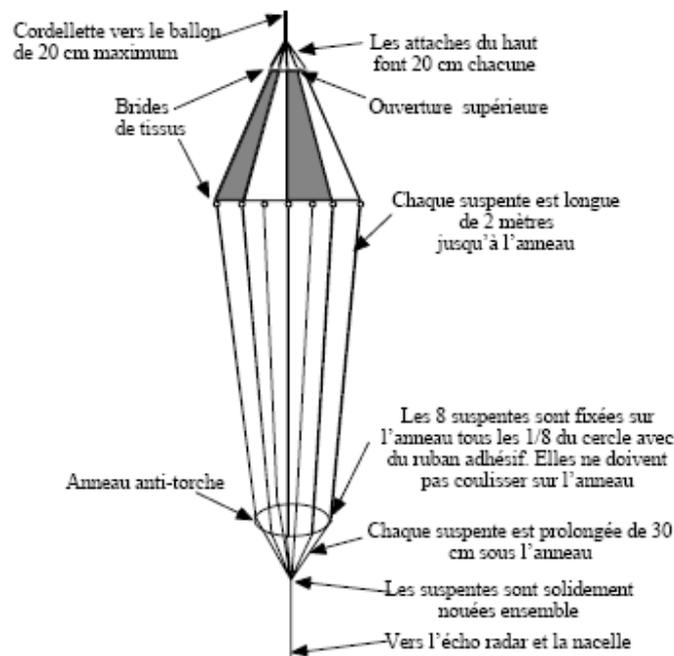


Figure 2 : Vue générale de la chaîne de vol

## LE REFLECTEUR RADAR

Obligatoire, il signale la présence du ballon aux engins volants et aux aiguilleurs du ciel. Il est constitué de deux losanges de carton placés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre. Ils sont recouverts d'une matière réfléchissante : feuille d'aluminium, qui permet au ballon de devenir visible par les radars.

## LA NACELLE

Elle contient les expériences que nous avons imaginées et sera développée plus en détail dans une partie du rapport. C'est sur cet élément que nous avons dû travailler.

## DEROULEMENT DU VOL

Comme indiqué sur le schéma ci-dessous, pendant environ 2 heures le ballon va monter à une vitesse qui très vite devient quasiment constante (5 à 6 m/s). Puis, à une altitude d'environ 30 kilomètres

sous l'effet de l'hélium l'enveloppe du ballon va éclater et le ballon commencera alors sa chute presque verticale pendant une petite demi-heure.

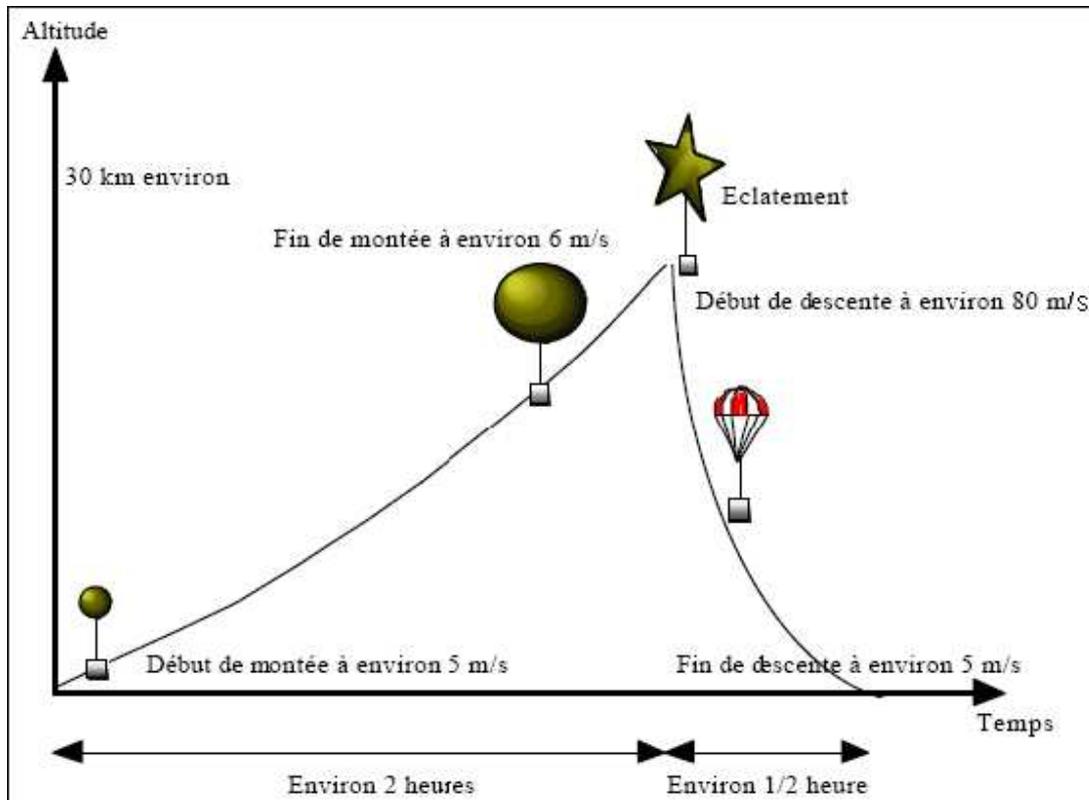


Figure 3 : Schéma de vol

Nous pouvons vérifier les vitesses données sur le schéma, par les calculs suivant :

Soit le bilan des forces suivant :

Si  $V$  est le volume du ballon, la poussée d'Archimède vaut :

$$P_a = r \cdot V \cdot g_0$$

avec

$r$  : Masse volumique de l'air

$V$  : Volume de l'enveloppe

$g_0$  : Accélération de la pesanteur au sol

Pour que le ballon puisse s'élever il faut nécessairement  $P_a > P$  où  $P = M \cdot g_0$  ( $M$  est la masse de la chaîne de vol).

La condition de vol s'écrit donc :

$$r \cdot V > M$$

Cependant, au cours du vol une autre force apparaît. Il s'agit de la force de frottement qu'engendre l'air ambiant. Cette force  $F$  qui s'oppose au mouvement s'exprime par :

$$F = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v^2$$

Avec

$C_x$  : Coefficient de traînée

$\rho$  : Masse volumique de l'air

$S$  : Maître couple du ballon

$V$  : Vitesse ascensionnelle du ballon

Le coefficient de traînée est le paramètre le plus difficile à déterminer car il dépend de la nature et de la forme de l'enveloppe. Nous le considérons généralement égal à 1. Le maître couple est la surface que présente le ballon dans le sens du mouvement. Le maître couple se déduit du volume du ballon. Dans la pratique il existe d'autres forces (vent...) appliquées au ballon qui modifient son comportement. Cependant dans notre modèle simplifié on distinguera uniquement :

$P$  : Poids de l'ensemble de la chaîne de vol

$P_a$  : Poussée d'Archimède

$F$  : Frottement du ballon dans l'air

**Ensuite, en appliquant, le principe fondamental de la dynamique, on obtient :**

$$\vec{F} + \vec{P}_a + \vec{P} = M \vec{a}$$

d'où

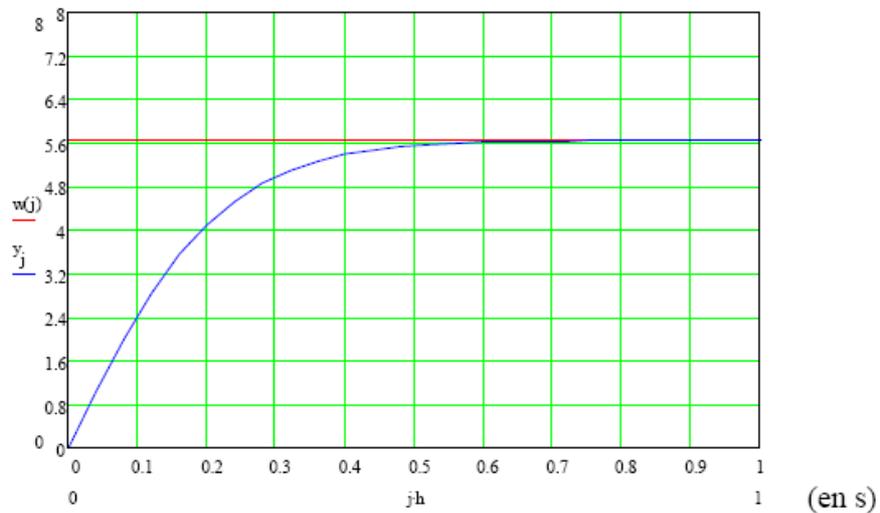
$$-\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2 \cdot \vec{k} + \rho \cdot V \cdot g_0 \cdot \vec{k} - M \cdot g_0 \cdot \vec{k} = M \cdot a \cdot \vec{k}$$

Pour obtenir une équation différentielle de la vitesse, il suffit de remplacer l'accélération par la dérivée de la vitesse et on obtient alors :

$$-\frac{1}{2} \frac{\rho \cdot C_x \cdot S}{M} v^2 + \left( \frac{\rho \cdot V}{M} - 1 \right) \cdot g_0 = \frac{dv}{dt}$$

Pour résoudre cette équation il est bon d'énoncer les conditions initiales. Dans le cas d'un lâcher de ballon on a  $V(t=0)=0$ .

La résolution analytique d'une telle équation n'est pas aisée et il est nécessaire d'utiliser une méthode de résolution numérique. La méthode de Runge-Kutta à l'ordre 4 donne le résultat suivant :



$\rho = 1.22 \text{ kg/m}^3$     $C_x = 1$                        $S = 4 \text{ m}^2$      $V = 9 \text{ m}^3$      $M = 3 \text{ kg}$      $g_0 = 9.81 \text{ m/s}^2$

Figure 4 : Evolution de la vitesse

Ce graphique montre l'évolution de la vitesse en fonction du temps. On remarque que, très rapidement, celle-ci tend vers une vitesse limite constante d'environ 5.6m/s (Cette vitesse est juste un exemple de calcul). On peut déduire de ce résultat qu'un ballon "réagit" très vite à son environnement et que donc toute perturbation atmosphérique se répercutera sur la vitesse ascensionnelle de celui-ci.

## LA NACELLE

La nacelle est une partie très importante du projet ballon car une mauvaise construction de celle-ci peut entraîner des dommages significatifs sur les expériences. De plus, sa construction est d'autant plus difficile qu'elle doit respecter un cahier des charges très strict.

### CONTRAINTES DU CAHIER DES CHARGES

#### REGLES

**MEC 1** : La charge utile contenant l'expérience doit avoir une masse inférieure à 2,5 kg. Si l'expérience le justifie, une masse de 3 kg est envisageable à condition qu'elle soit répartie en plusieurs lots distants de 2 mètres dont le plus lourd possède une masse inférieure à 2 kg.

**MEC 2** : La plus petite arête d'une nacelle ne peut être inférieure à 35 cm. Pour les nacelles largables (moins de 1 kg voir SR2), la plus petite arête d'une nacelle ne peut être inférieure à 20 cm.

**MEC 3** : La masse surfacique maximum de chaque nacelle doit être inférieure à  $13\text{g/cm}^2$ .

**MEC 4** : Toute suspente ou câble extérieur à la nacelle doit pouvoir se rompre sous l'effet d'une force de traction de 230 N (environ 23 kg).

**MEC 5** : Les éléments de la chaîne de vol doivent être fabriqués en matériaux peu denses (polystyrène extrudé, carton fort, plastiques légers...). Les fenêtres d'appareils de prises de vue doivent être en plexiglas ou matériau équivalent inférieur à 1 mm.

**MEC 6** : La vitesse ascensionnelle du ballon ne peut être inférieure à 4 m/s.

**MEC 7** : Le contenu de la nacelle doit pouvoir être accessible, jusqu'au moment du lâcher.

### FORME

D'après le cahier des charges, MEC 3, la contrainte de masse surfacique veut limiter les effets de pointe qui peuvent se révéler dangereux en cas d'impact. Ainsi, toutes nacelles avec des pointes type pyramidale n'est pas compatible avec le cahier des charges. Deux formes de nacelle étaient donc encore possibles : un cube ou un cylindre.

Pour des raisons de simplicité, d'équilibrage et de mise en disposition des circuits, nous avons choisi une forme en cube.

### MATERIAUX UTILISES

La nacelle est quasi-exclusivement construite avec du polystyrène extrudé. Celui-ci permet en effet une bonne isolation thermique et une bonne résistance aux chocs, tout en étant suffisamment léger et peu dense pour satisfaire au cahier des charges. Par ailleurs, il conserve ses propriétés mécaniques sous l'effet du froid et des pressions faibles, comme en haute atmosphère.

De plus, le polystyrène extrudé possède une assez bonne résistance à l'eau et son prix est tout à fait abordable.

Après avoir acheté les différentes plaques, nous avons taillé 5 plaques à l'aide d'un cutter.

Enfin, nous avons assemblé les 5 cotés de la nacelle en utilisant de la colle spéciale pour le polystyrène extrudé.

## L'ISOLATION

L'un des soucis majeurs est la température au sein de la nacelle. En effet, de nombreux éléments électroniques fonctionnent sur des plages de températures restreintes (par exemple le PIC ne fonctionne pas en-dessous de 10°C). Il est donc nécessaire pour nous de soigner tout particulièrement l'isolation de la nacelle, pour protéger les expériences embarquées, car les températures extérieures descendent dans l'atmosphère jusqu'à -56°C au niveau de la tropopause (le ballon allant jusqu'à une altitude d'environ de 30km).

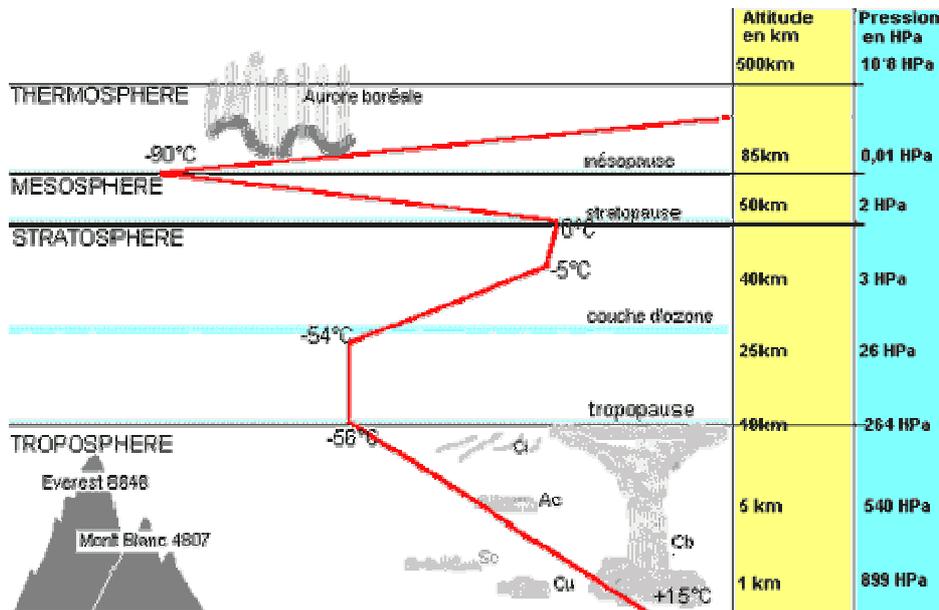


Figure 5 : Différences de température et pression en fonction de l'altitude

Comme nous l'avons expliqué dans le paragraphe précédent le matériau pour fabriquer la nacelle a été principalement choisi pour ces caractéristiques isolantes. Cependant, d'autres précautions ont été prises pour garantir cette isolation maximale :

- ✦ Pour éviter toutes déperditions thermiques au niveau des arêtes du cube formant la nacelle, nous avons rajouté des joints.
- ✦ De plus, afin d'améliorer l'isolation, nous avons disposé une couverture de survie autour de la nacelle. Cependant, une question peut alors se poser : de quel côté doit on placé la couverture de survie et dans quel sens ?

Les propriétés isolantes de la couverture de survie viennent de son aspect réfléchissant qui renvoie le rayonnement. De plus, l'or est meilleur miroir que l'argent pour le rayonnement infrarouge. Par conséquent, comme nous désirons augmenter la chaleur à l'intérieur de la nacelle nous devons placer le coté doré vers l'intérieur de la nacelle et sur la face extérieure de cette nacelle. Ainsi, la chaleur va rester confinée à l'intérieur de la nacelle et les déperditions seront moins importantes. Ce résultat peut sembler étrange car en regardant des satellites on voit qu'ils ont une couleur dorée. Mais ceci s'explique car pour les satellites le problème est inverse. Au niveau d'un satellite on cherche à le protéger du rayonnement solaire qui est à haute altitude très important et à évacuer la chaleur due à l'électronique de bord.

Pour pouvoir savoir si les précautions prises lors de la construction de la nacelle seront suffisantes, pour avoir un fonctionnement normal des appareils embarqués, nous avons ensuite procédé à une modélisation sur Matlab.

Tout d'abord, nous connaissons les températures extérieures grâce à des mesures déjà effectuées. De plus, nous avons, selon les données fournies sur les caractéristiques de notre ballon (masse...), approximé la vitesse à une constante égale à 4,5 m/s. Ainsi, à l'aide de la fonction spline sous Matlab, nous avons la donnée suivante : température extérieure en fonction du temps.

En effet, cette donnée est indispensable pour effectuer le calcul de la température intérieure. Nous avons à modéliser plusieurs phénomènes pour cette expérience :

1. Le rayonnement que nous négligeons à cause de la présence de la couverture de survie.
2. La conduction que nous allons prendre en compte à l'intérieur de l'isolant.
3. La convection que l'on va négliger sur les parois intérieures mais que l'on va calculer sur les faces extérieures.

Pour prendre en compte ce dernier phénomène, nous devons calculer  $h$ . Calcul de  $h$  (on rappelle que  $h$  est le coefficient d'échange thermique):

1. Nous avons dans notre cas de la convection forcée car le ballon se déplace.
2. Il nous faut donc calculer le nombre de Prandtl et de Nusselt

Pour ce second point, on va considérer que le nombre de Prandtl est constant et égal à 0,711 et on calcule le nombre de Nusselt par l'intermédiaire d'une spline permettant d'obtenir le Nusselt en fonction

de la température extérieure. Cela nous permet d'obtenir le nombre de Reynolds puis ensuite la valeur

de h par la formule :  $h = \frac{\lambda}{d} * 0.102 * Re^{0.675} * Pr_s^{\frac{1}{4}}$

Cela permet de calculer, à chaque pas de temps, la valeur de la température à l'intérieur de la nacelle. De plus, on peut tracer la courbe d'évolution de la température en fonction du temps et obtenir la température interne pour un temps donné. De plus, la méthode utilisée est celle des volumes finis, car s'agissant d'un modèle dynamique il est impossible de partir de l'équation de la chaleur.

Le code Matlab est disponible en annexe.

Les résultats obtenus peuvent être synthétisés sur les courbes situées en annexe.

## ORGANISATION DANS LA NACELLE

### LA MODELISATION 3D

Afin de se représenter la nacelle et de tenter d'évaluer le poids final de celle-ci, nous avons décidé de faire une modélisation en 3D de la nacelle et de son contenu. Pour cela nous avons utilisé le logiciel Solid Works. Celui-ci permet en effet de réaliser une maquette numérique de l'ensemble, à l'échelle et avec la possibilité de spécifier les matériaux utilisés. Grâce à ce procédé, il est possible d'obtenir le poids total de l'objet modélisé. De plus, il nous a été possible de tracer les plans de construction 2D de la nacelle mais aussi de dimensionner par exemple la taille de certaines parties.

Cependant, contrairement à ce que nous pensions, il nous a été impossible de déterminer le poids de la nacelle car les composants que nous avons utilisés n'étaient pas répertoriés dans la base de données du logiciel. Mais cela nous a malgré tout permis de disposer virtuellement les différents éléments à l'intérieur de la nacelle afin de se donner une idée de la place de chacun. De plus, cela nous a permis d'une part d'être plus efficaces dans la construction puisque l'on a pu construire directement la version finale de la nacelle à l'aide des plans de construction 2D et d'autre part d'avoir une confirmation visuelle du résultat final que l'on devait obtenir.

### LES TIROIRS

Nous avons remarqué en lisant de nombreux rapports sur les ballons sondes qu'un des problèmes était de vérifier le fonctionnement des instruments le jour du départ. La plupart du temps si une modification était nécessaire quelques minutes avant le départ, l'opération s'avérait difficile à cause de la désorganisation du placement des instruments au sein de la nacelle.

C'est pourquoi, nous avons décidé de construire deux tiroirs verticaux coulissants afin de pouvoir faire des modifications dans l'urgence en toute simplicité.

Pour ne pas augmenter de façon exagérée le poids de la nacelle, nous voulions utiliser du plexiglas très fin mais à cause de son prix nous lui avons préféré une structure en nid d'abeille/carbone provenant d'une chute de l'atelier de mécanique de l'école.

Enfin, par un système de rails en plastique nous pouvons faire coulisser ces sortes de tiroirs.

---

## LE POIDS ET LA TAILLE

Selon le cahier des charges, MEC 1, la charge utile doit avoir une masse inférieure à 2,5 kg et la plus petite arête doit faire 35 cm. Tous nos composants et la structure de la nacelle ont donc été pesés et dimensionnés pour que ces deux conditions soient vérifiées. Les résultats des calculs concernant le poids sont consultables en annexe.

---

## LES PERTURBATIONS ELECTROMAGNETIQUES

Dès que l'on utilise de l'électronique, des phénomènes de perturbations électromagnétiques peuvent apparaître et provoquer différents problèmes comme la perturbation des mesures ou le disfonctionnement de certains circuits. L'émetteur Kiwi, les amplificateurs opérationnels, les batteries et les fils peuvent en être à l'origine.

Quelques règles sont donc à respecter afin de ne pas subir ces perturbations. Celles-ci s'appliquent à la fois au niveau de la disposition des circuits mais aussi à la façon dont ils sont reliés entre eux. En effet, les fils sont à l'origine de beaucoup de problèmes et cela est dû au fait qu'un fil possède une inductance et crée donc des tensions parasites. C'est pourquoi il faut limiter au maximum la longueur et le nombre de fils dans la nacelle. De plus, il faut s'assurer qu'aucune boucle n'est créée avec les fils car cela peut faire office d'antenne.

Il est également préférable de séparer les alimentations de l'émetteur et des autres circuits électroniques. Il est même conseillé de réaliser un blindage électromagnétique entre chaque circuit pour limiter les perturbations qu'ils peuvent avoir les uns sur les autres. Il faut en particulier s'assurer que l'émetteur et les circuits comportant des amplificateurs opérationnels soient les plus éloignés possible.

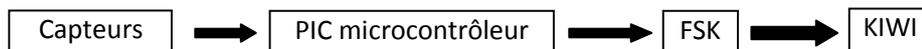
---

## L'EQUILIBRAGE

Bien entendu, il est indispensable d'avoir une nacelle équilibrée pour éviter toutes perturbations lors du vol. C'est pourquoi, nous avons veillé à mettre les piles dans chaque angle de la nacelle. De plus, nous avons utilisé deux tiroirs disposés de façon symétrique toujours dans un souci d'équilibre.

## LA CHAINE DE TELEMESURE

La chaîne de télémétrie se décompose en plusieurs parties, disposées de la manière suivante :



## LE PIC BASIC 3B

Un microcontrôleur a été choisi afin de collecter et de transmettre toutes les données recueillies par les différents capteurs. Ce choix est justifié par le nombre de mesures réalisées à bord de la nacelle. En effet, les données sont analogiques et elles doivent être converties en numérique pour être transmises. Le Kiwi possédant peu de convertisseurs analogique/numérique (CAN), le microcontrôleur a été privilégié pour la transmission des données.

## LES ENTREES/SORTIES

Le PICBASIC 3B possède cinq convertisseurs analogiques numériques (CAN).

Le dessin suivant illustre le PICBASIC 3B :

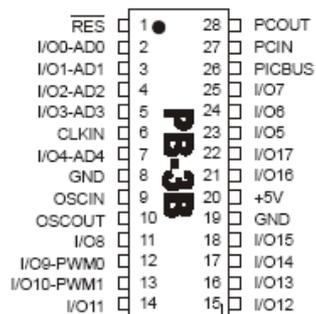


Figure 6 : PicBasic 3B, implantation des pins

Détails des différentes broches :

n° 2, 3, 4, 5, 7 : Entrées/Sorties ou Convertisseurs Analogique Numérique (CAN)

n°11 à 18 et n°21 à 25 : Entrées/Sorties numériques

n°19, 20 : masse et alimentation +5V

n°27, 28 : Entrées/Sorties pour la programmation par PC

Les mesures de température nécessitent deux CAN et les mesures de pression un CAN. L'auto-positionnement, quant à lui, a besoin au total de quatre CAN. Les deux restants du PIC seront utilisés et les deux autres seront construits avant l'entrée des données dans le PIC.

Deux des données de l'auto-positionnement passeront par les convertisseurs analogiques numériques mis en place avant le PIC.

Ces informations rentreront dans le PIC par deux des entrées numériques.

Le port série du GPS, lui, sera également relié à une entrée numérique du PIC.

---

## LA PROGRAMMATION

La programmation du PICBASIC est notre moyen de récupération des données provenant du GPS et de tous les systèmes de mesures dans la nacelle. Avant de détailler le programme en lui-même, nous allons expliciter certaines fonctions de la programmation en basic.

---

## LE PROGRAMME DU PICBASIC

Le microcontrôleur doit être programmé pour récolter toutes les données émises par les différents capteurs, le GPS, les accéléromètres et les gyroscopes.

Les différentes trames de mesure sont envoyées successivement, mais chaque trame est séparée par un intervalle de temps imposé. Le programme est alors une sorte de boucle qui se répète car nous souhaitons recueillir différentes mesures à différents moments du vol.

Le programme du PIC est alors composé de différentes parties :

- pour le GPS
- pour le capteur de pression
- pour le capteur de température
- pour les accéléromètres
- et pour les gyroscopes

Afin de communiquer avec le GPS nous avons utilisé les fonctions du langage basic suivantes :

- SERIN *port, Param1, Mode, Param2, Adress [condition, var1]*
- SEROUT *port, Param1, Mode, Interval, [Var1]*

La fonction SEROUT nous permet d'envoyer un message d'ordre au GPS lui demandant les informations nécessaires. Dans cette fonction il faut préciser :

- le port par lequel nous envoyons le message (port),
- le message ( [Var1] )
- la vitesse de transmission (Param1, qui est de 4800 bauds soit un param1 de 207)
- le mode et l'intervalle qui sont de 0 par défaut.

La fonction SERIN nous permet de recevoir les données envoyées par le GPS. Il faut alors préciser :

- le port de réception des données ( qui sera celui de la réception de la trame totale)
- la vitesse de réception ( Param1, de la même manière que pour la fonction SEROUT)
- la durée au bout de laquelle, si aucune donnée n'est transmise, le PICBASIC continuera l'exécution du programme à la ligne Adress (Param2)
- le mode est mis à zéro par défaut.

En ce qui concerne l'appareil photo, vue l'impossibilité de faire tourner une tache de fond sur le PIC, nous avons décidé d'utiliser une horloge externe indépendante du microcontrôleur pour déclencher la prise de photo.

Enfin, l'enregistrement des mesures effectuées par les capteurs de pression et de température se fait à l'aide de la fonction ADIN(port). En effet, des entrées de conversion analogique/numérique du PICBASIC sont utilisées pour récupérer les tensions des capteurs. La fonction ADIN permet donc « d'activer » les convertisseurs analogiques/numériques.

## LE FSK

Le **FSK** (Frequency-Shift Keying) est un circuit nécessaire à la communication entre le PIC et l'émetteur Kiwi quand on utilise ce dernier en mode numérique. Ce module permet de convertir un signal en créneaux (0/1 constituant la trame en codage binaire) et un signal dont la fréquence varie en fonction de l'état haut/bas. Par exemple, pour communiquer avec le Kiwi, il est nécessaire de fournir un signal de 900Hz pour un 0 et 1500Hz pour un 1.

Pour ce circuit, nous avons récupéré et testé celui utilisé il y a 2 ans par l'équipe Cosmic Balloon. Après essais à l'oscilloscope, nous avons validé son bon fonctionnement et décidé de le garder. Cela nous a permis de ne pas avoir à concevoir ce circuit. Cela nous avait été conseillé par Planète Sciences : la réalisation de ce circuit n'est pas très intéressante dans la mesure où il ne fait que mettre en œuvre un

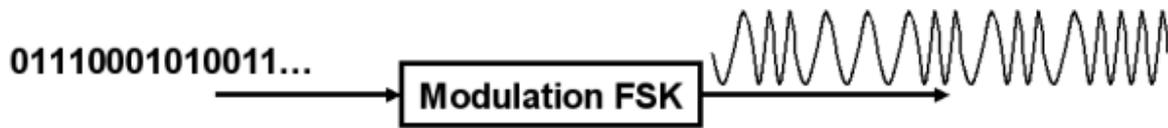
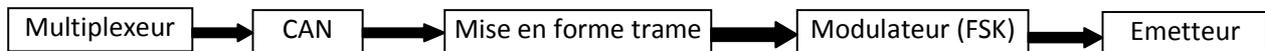


Figure 7 : Modulation par FSK

Ce circuit est alimenté en 5V et consomme 15mA.

## LE KIWI

Le Kiwi se décompose en différentes fonctions de la manière suivante :



Dans notre cas, la mise en forme de la trame ne se fera pas par le Kiwi mais à l'aide d'un PIC.

---

## LA TRAME D'EMISSION

La trame numérique envoyée par le Kiwi est constituée de onze octets. Cette trame a la forme suivante :

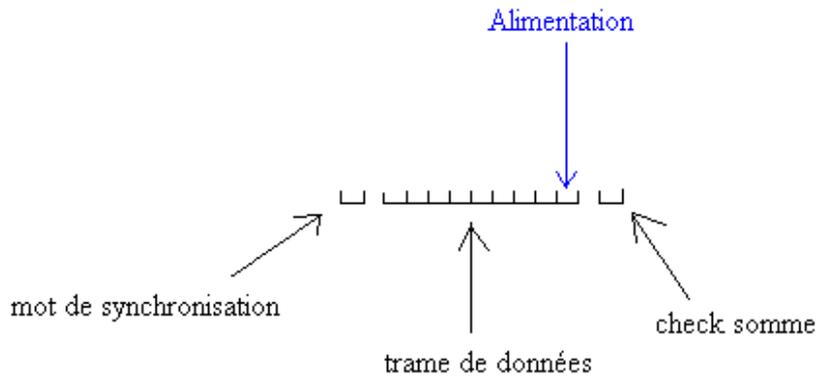


Figure 8 : Schéma de la trame KIWI

Le mot de synchronisation (255) permet d'identifier le début de la trame. Le check somme contrôle le nombre de données afin d'identifier une erreur possible dans la trame reçue.

La trame de données contient neuf mesures dont une concernant l'alimentation. Cette dernière mesure est un octet permettant de surveiller l'état des piles durant le vol du ballon.

Les huit autres mesures sont chacune codées sur huit bits. La valeur 255 n'est jamais atteinte car elle correspond au mot de synchronisation.

Une trame de mesure est envoyée toutes les deux secondes.

La vitesse de transmission du Kiwi est de 600 bauds soit 600 bits/s. La trame est codée sur une porteuse radio de fréquence 137,95 MHz ou 138,5 MHz.

## UTILISATION DU KIWI

L'émetteur Kiwi doit être alimenté par une tension continue comprise entre 9 et 14 V. La consommation moyenne est de 190 mA quelle que soit la tension d'alimentation appliquée.

Le Kiwi peut être utilisé comme alimentation pour des capteurs. Le courant maximum prélevé doit être inférieur à 100 mA. La puissance d'émission est de 100 mW.

La tension d'entrée minimale du Kiwi est de 0V et la tension d'entrée maximale de 5V.

**ATTENTION** : Il ne faut aucun contact entre la couverture de survie et l'antenne du Kiwi.

Au cours du vol le Kiwi sera utilisé en mode numérique. Il émettra les trames en continu sans répétition.

### INFORMATIONS GENERALES

Pour pouvoir comparer les résultats obtenus par positionnement inertiel avec des valeurs fiables et surtout augmenter les chances de retrouver le ballon, l'utilisation d'un GPS s'est avérée nécessaire. Nous avons réutilisé le GPS acheté il y a deux ans. Il s'agit d'un Motorola Oncore M12+. Le M12+ est vendu avec une carte d'évaluation qui se branche directement sur la carte du GPS et permet de communiquer avec le GPS et un PC. La carte d'évaluation possède entre autres un port série, des diodes de visualisation de fonctionnement et une borne d'alimentation 9v qui régule et distribue l'alimentation nécessaire au fonctionnement des deux cartes. Cette carte d'évaluation est très utile pour manipuler le GPS.

#### Les diodes de visualisation :

Près de ces diodes est tracé un symbole qui correspond à son utilité :

- POWER : permet de vérifier l'alimentation de la carte.
- 1 PPS : permet de vérifier le bon fonctionnement du GPS en clignotant à 1 Pulsation Par Seconde.
- TX : permet de visualiser un message qui est Transmis par le GPS.
- RX : permet de visualiser un message Reçu par le GPS.
- Pour le M12+, les bornes RX et TX sont en 3 Volt et plus précisément en logique TTL. C'est à dire de 0 à 0,8 v c'est un 0 et de 2 à 3 v c'est un 1.

Le GPS peut alors communiquer soit directement sur ces bornes RX et TX en logique TTL sans sa carte d'évaluation ou sur le port série de la carte d'évaluation. Il existe deux protocoles de communication: NMEA et Binary Motorola utilisé par défaut.

### LE PROTOCOLE NMEA

Dans la suite, nous allons utiliser le protocole NMEA car pour des problèmes de vitesse de communication avec le FSK ce protocole est recommandé. En effet, le FSK accepte au maximum 4800 bauds. Or, le mode Motorola Binary ne peut pas descendre en dessous de 9600 bauds et ne peut donc pas être utilisé. Tandis que le protocole NMEA peut être utilisé à 4800 bauds.

### PRINCIPE

C'est un protocole de communication toujours en caractères ASCII qui était utilisé à l'origine pour la navigation et maintenant dans la majorité des GPS grand publique.

NMEA signifie National Marine & Electronics Association qui est une association à but non lucratif qui a pour objectif d'harmoniser et standardiser les équipements dans la marine.

Il n'y a pas de commande à envoyer pour communiquer avec ce protocole mais juste une liste de trames à choisir parmi les 7 proposées par le GPS (voir le logiciel WinOncore pour ces trames). Il peut être cependant paramétré, en vitesse d'envoi (minimum 4800 bauds), délai entre chaque envoi (de 1 à 255 secondes).

---

#### COMPOSITION DU TRAME :

Chaque trame commence par le caractère \$, suivi par un groupe de 2 lettres pour l'identifiant du récepteur. Par exemple :

- ✦ **GP** pour Global Positioning System.
- ✦ **LC** Loran-C receiver.
- ✦ **OM** Omega Navigation receiver.
- ✦ **II** Integrated Instrumentation (eg. AutoHelm Seatalk system).

Puis ensuite, un groupe de 3 lettres indique l'identifiant de la trame que l'on utilise :

- ✦ **GGA** : pour GPS Fix et Date.
- ✦ **GLL** : pour Positionnement Géographique Longitude-Latitude.
- ✦ **GSA** : pour DOP et satellites actifs.
- ✦ **GSV** : pour Satellites visibles.
- ✦ **VTG** : pour Direction (cap) et vitesse de déplacement (en noeuds et Km/h).
- ✦ **RMC**: pour données minimales exploitables spécifiques.

Après cela, on a la présence de plusieurs champs qui sont séparés par une virgule. La virgule n'a pas un rôle anodin car elle permet la délimitation de chaque champ, ce qui permet la déconcaténation des données dans le programme de traitement.

Pour finir, un champ facultatif appelé checksum. Ce champ est précédé du signe \* qui représente le **OR** exclusif de tous les caractères compris entre \$ et \* (sauf les bornes \$ et \*). Certaines trames exigent le checksum.

On ferme la séquence par le biais de **[CR][LF]** (**[CR]** Retour Charriot et **[LF]** Retour à la ligne).

Soit un total maximum de 82 caractères.

Pour plus de détails sur les trames possibles voir le document :  
[http://www.sahariens.info/spip\\_sahara/article.php3?id\\_article=219](http://www.sahariens.info/spip_sahara/article.php3?id_article=219)

---

#### CHOIX DE LA TRAME

Nous devons disposer de plusieurs informations telles que l'altitude, la longitude et la latitude. C'est pourquoi nous avons choisi la trame GGA qui contient toutes ces informations. Un document en annexe représente cette trame.

---

## VISUALISATION DES TRAMES EN GENERAL

---

### LE LOGICIEL WINONCORE :

Il est disponible sur internet : **WinOncore12\_1\_2**. Voici un bref descriptif de son utilisation :

Tout d'abord, il convient de suivre le Receiver Setup proposé par le logiciel. C'est une série de paramètres à régler pour initialiser le GPS, comme la vitesse d'envoi, le nombre d'envoi par seconde...

Pour communiquer avec le GPS via le logiciel plusieurs réglages doivent être fait :

- Sélectionner PC Communications.
- NMEA Settings permet de sélectionner les trames NMEA désirées.
- Timing Settings et Satellite Settings permettent d'initialiser la position et l'heure actuelle.
- Enfin pour changer de l'un à l'autre des protocoles, utiliser les deux dernières lignes du menu Options.

---

## ALIMENTATION DE LA NACELLE

---

### GENERALITES

Le temps de vol est d'environ 2h30 pour ce type de projet. C'est pourquoi, la nacelle doit avoir une autonomie minimum de 3h, car l'alimentation doit commencer avant l'heure du lancer.

Il n'est pas conseillé d'utiliser des batteries comme source d'alimentation pour un projet ballon. Il est préférable d'utiliser des piles alcalines (de plus, ce sont les seules piles autorisées selon le cahier des charges fourni par Planète Sciences). En effet, à bord des ballons, les batteries sont à proscrire car on cherche à minimiser la masse de la nacelle. Les batteries possèdent un rapport capacité/ masse plus faible que les piles. De plus, quelle que soit leur technologie (CdNi, NIMH, Li-Ion), les batteries voient leur capacité chuter dramatiquement aux faibles températures (car la température va descendre assez fortement dans la nacelle). On utilisera donc uniquement des piles.

Enfin, pour pouvoir lors du départ vérifier que les différents composants de la chaîne de télémétrie sont bien alimentés, nous utiliserons une carte de visualisation directement reliée aux batteries.

---

## ALIMENTATION

Pour choisir comment alimenter les différentes cartes il est indispensable de connaître la consommation de chaque carte.

Ce tableau récapitule les informations nécessaires au dimensionnement des batteries :

<b>Cartes</b>	<b>Tension</b>	<b>Consommation</b>
KIWI	12 V	190 mA
PIC	5V	100mA
FSK	Supérieure à 12 V	15 mA
GPS	9 V	80 mA
Température intérieure	5V	0,14 mA
Température extérieure	5V	0,07mA
Positionnement	12V	3mA
Pression	10V	3mA
Horloge	5V	46mA

---

### EXEMPLE : L'ALIMENTATION DU KIWI

L'émetteur Kiwi doit être alimenté par une tension continue comprise entre 9 et 14 V à partir du bornier d'alimentation ou du connecteur d'interface (broches 1 et 3). La consommation moyenne est de 190 mA quelle que soit la tension d'alimentation appliquée. Pour simplifier la mise en oeuvre de certaines expériences, il est possible et recommandé d'alimenter l'électronique de mesure du projet grâce à la sortie 5V (présente sur les borniers de mesure et le connecteur d'interface broche 2). **Le courant maximum prélevé doit être inférieur à 100mA.**

---

## CAHIER DES CHARGES

Voici l'ensemble des éléments que nous avons pris en compte pour effectuer le dimensionnement de l'alimentation.

Temps de préparation :  $T_p$  (essais, mise en route avant lancement...)

Temps de vol maximum estimé :  $T_v$

Consommation max de l'émetteur :  $YYY$  mA (Ck)

Température minimum :  $-XX^\circ\text{C}$

---

## CALCUL DE LA CAPACITE DE LA SOURCE D'ENERGIE

$C$  (en A.h) =  $C_k$  en Ampères x ( $T_p + T_v$ ) en heures

En connaissant la capacité en A.h nécessaire à la mission, on peut ainsi dimensionner et choisir correctement la source d'alimentation.

---

## COURANT MAXIMUM

Souvent on se contente de déterminer la capacité nécessaire à l'expérimentation pour choisir la pile ou la batterie. Cela conduit très souvent à des choix inadaptés car on omet de considérer une autre caractéristique importante de la source d'alimentation : le courant maximal admissible. En effet, une pile ou une batterie de tension à vide donnée, voit sa tension diminuer à mesure que le courant consommé est important.

---

## CHOIX DES PILES ET DES BRANCHEMENTS

Nous avons pensé à des piles alcalines de deux sortes : Duracell 4,5V MN 1203

9V MN 1604

Soit avec ces deux piles le branchement suivant :

Pour le KIWI et le FSK (mis en parallèle), 3 MN 1203 en série avec un régulateur à 12V. Pour le GPS et accéléromètre (mis en parallèle), 2 MN 1604 en série + 2 MN 1604 en parallèle. Pour les circuits de température et le circuit de l'horloge (mis en parallèle), 1 MN 1604 avec régulateur à 7V.

L'ensemble du dispositif sera testé durant plus de 3 heures dans des conditions critiques (à  $-20^\circ\text{C}$ ) pour pouvoir vérifier la cohérence des calculs. En effet, les piles se déchargent beaucoup plus rapidement à basse température. Ce phénomène a été anticipé dans nos calculs, mais nous préférons réaliser un test avant le départ.

---

## CIRCUIT DE CONTROLE

Pour pouvoir, le jour du départ visualiser si l'ensemble de l'alimentation fonctionne correctement, nous allons utiliser un circuit de contrôle qui servira d'interface homme/machine. Ce circuit est pour le moment en construction car toute la disposition au sein de la nacelle doit être effectuée pour pouvoir concevoir cette interface.

Ce circuit de contrôle sera composé de DEL qui s'éclaireront si le bon courant passe dans les différents circuits. De plus, il sera composé d'interrupteur pour permettre ou non le passage du courant et enfin des régulateurs de tensions permettront de contrôler le voltage pour éviter tout problème de dégradation des composants et pour allonger le temps de fonctionnement.

## RECEPTION ET ANALYSE DES DONNEES

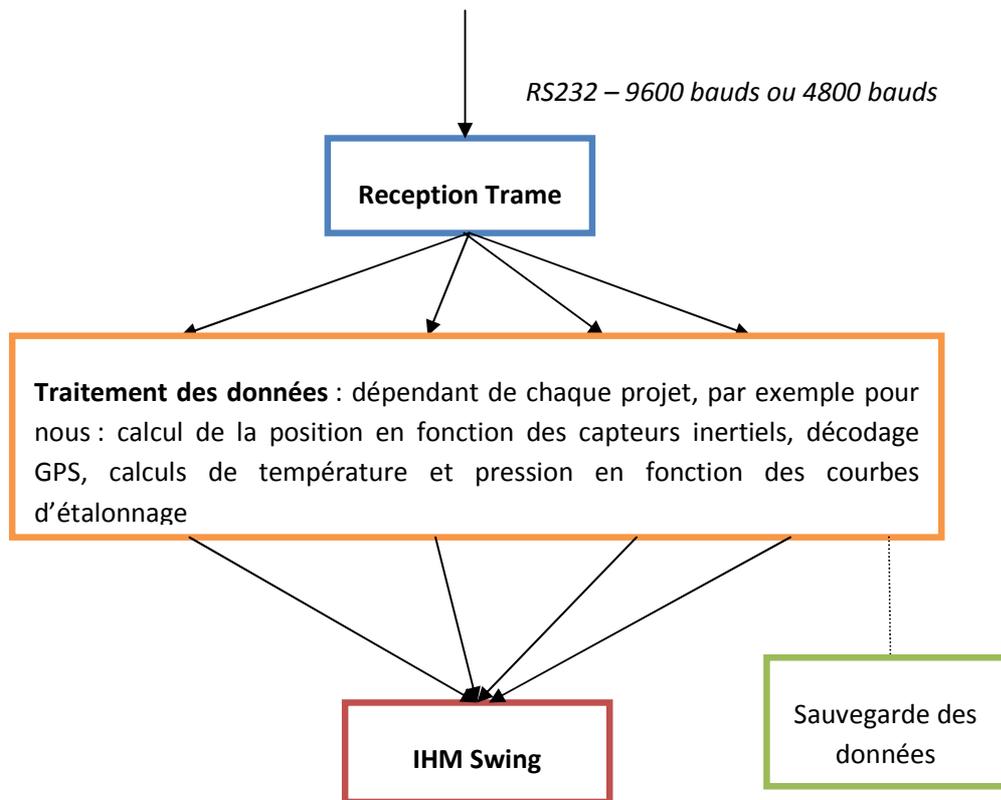
La trame choisie par l'équipe n'étant pas « standard » (à cause du GPS) au regard de ce qui est généralement utilisé par Planète Sciences nous avons décidé de produire un logiciel capable de décrypter ces trames. Le langage utilisé est le JAVA. Nous avons fait ce choix à cause de la portabilité des programmes réalisés avec ce langage, en effet nous ne savions pas quel serait le type d'ordinateur utilisé pour décoder la trame. Le second et principal argument en faveur de JAVA est que nous en avons tous de bonnes notions et que le développement étant déjà assez complexe, l'apprentissage d'un nouveau langage aurait été trop coûteux en temps.

## LE DEVELOPPEMENT D'UN LOGICIEL

Nous avons souhaité développer un programme capable de décoder, d'analyser et d'enregistrer en temps réel les données reçues par la baie de télémétrie Kiwi. Nous avons voulu être les plus souples possibles dans la conception et l'utilisation de ce programme. Le but est qu'il ne soit pas seulement utilisable par notre équipe mais par toutes les autres équipes le plus facilement possible.

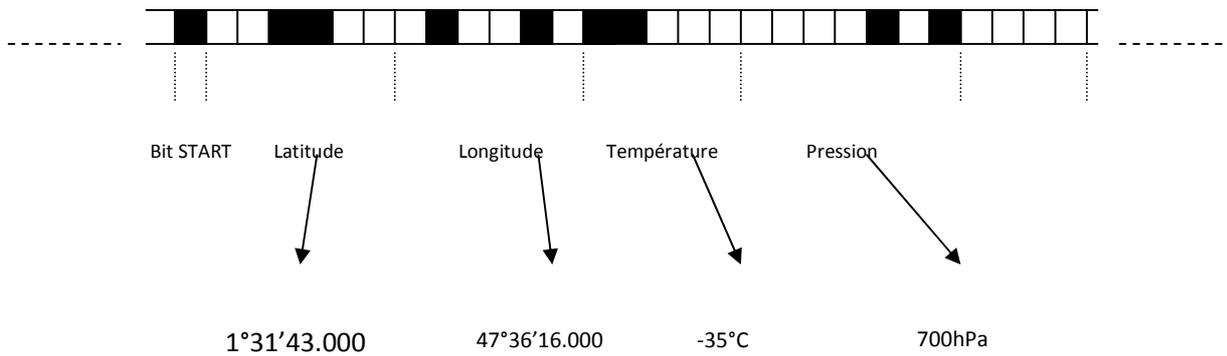
Afin de faciliter sa mise en œuvre et son amélioration par d'autres équipes, ce logiciel sera open-source. Nous fournirons le plus tôt possible une documentation de type Javadoc en plus de l'aide à l'utilisation qui sera incluse dans le programme.

## LA STRUCTURE DU PROGRAMME



## LES CLASSES

Comme le montre le schéma précédent, il existe trois grandes classes dans le programme. La première est celle qui permet d'écouter et de lire les flux de données sur le port série. Elle transforme en trame ASCII le flux d'octets reçus par la baie de réception. La trame ASCII obtenue est ensuite « découpée » selon un standard que l'on peut définir dans l'interface (voir Réglage Trame...) afin de séparer les différents types de données.



Décomposition de la trame

## DESCRIPTION DES CLASSES UTILISEES

Voici les données importantes des trois principales classes du programme de réception et d'analyse des données.

Nom	VisualisationTrame
Description rapide de la classe	Permet d'écouter le port série choisi au débit choisi.
Imports spéciaux, extends, implements	Import javax.comm Extends JFrame implements Runnable
Variables d'instances importantes	Thread runner, JTextField texte
Constructeurs	VisualisationTrame(String port, <b>int</b> debit)

Méthodes Exécution	Run()
Commentaires	Cette classe permet d'avoir une interface dans laquelle on peut recevoir des données depuis le port série et en envoyer. C'est un hyperterminal très simplifié qui ne travaille que sur le port série. On est obligé de travailler avec des Thread pour gérer la réception des données en tâche de fond en même temps que l'affichage.

Nom	Classe de traitement de données standard
Description rapide de la classe	Permet de convertir les données brutes en données exploitables
Imports spéciaux, extends, implements	Rien de spécifique
Variables d'instances importantes	String brut, String calculé
Constructeurs	TraitementStandard(String brut)
Méthodes Exécution	conversion()

Commentaires	Cette classe prend le bout de trame brute en entrée (type String) et renvoie la valeur calculée (type String).
--------------	--

Nom	Réception
Description rapide de la classe	Interface principale du programme
Imports spéciaux, extends, implements	Extends JFrame
Variables d'instances importantes	JTable table, MyCarte carte
Constructeurs	Reception()
Méthodes Exécution	Méthodes de construction de l'interface
Commentaires	L'interface est divisée en 2 grands panneaux. A gauche, on trouve un tableau qui regroupe toutes les valeurs envoyées par le ballon. A droite on trouve la carte sur laquelle est tracée la trajectoire du ballon.

L'intérêt de cette structure est son adaptabilité. En effet quelques soient les données envoyées par un ballon, les seules classes à modifier sont les classes de calcul standard. Par exemple, si on veut mettre un GPS dans la nacelle, on écrit une classe qui effectue le calcul et renvoie la position latitude, longitude.

On choisit ensuite dans l'interface, et plus particulièrement dans le menu Réglages trame, l'allure de la trame. L'interface Réception s'adapte alors et commence à afficher les valeurs.

Les principales difficultés rencontrées dans la conception de ce programme ont été sa taille plus importante que tout ce que nous avons développé depuis notre entrée à l'école et notre méconnaissance des Thread pourtant bien utiles. Pour ce qui est de la structure, nous avons essayé au maximum de séparer les différentes classes, notamment l'interface pour avoir une structure de programme la plus claire possible.

# LES EXPERIENCES

## MESURE DE TEMPERATURE

### OBSERVATION

La température varie très irrégulièrement en fonction de l'altitude. C'est par cette variation que l'on définit les différentes couches de l'atmosphère. A chaque changement de la variation de température, on définit une nouvelle couche.

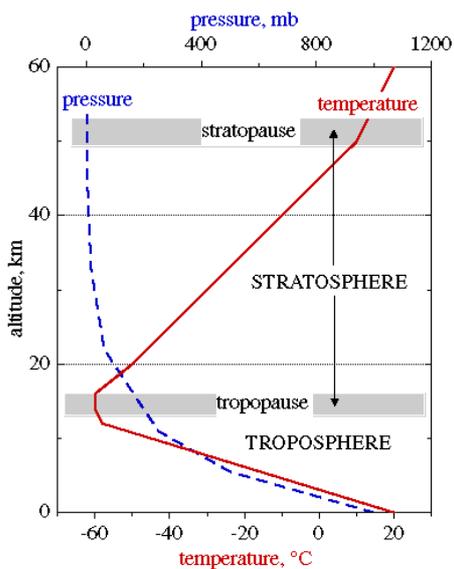


Figure 9 : Température en fonction de l'altitude

On observe ainsi un changement de variation entre la troposphère et la stratosphère à 11 km d'altitude, à notre latitude. La limite s'appelle la **tropopause**. Elle constitue aussi la limite de la biosphère et est la partie la plus froide de la basse atmosphère.

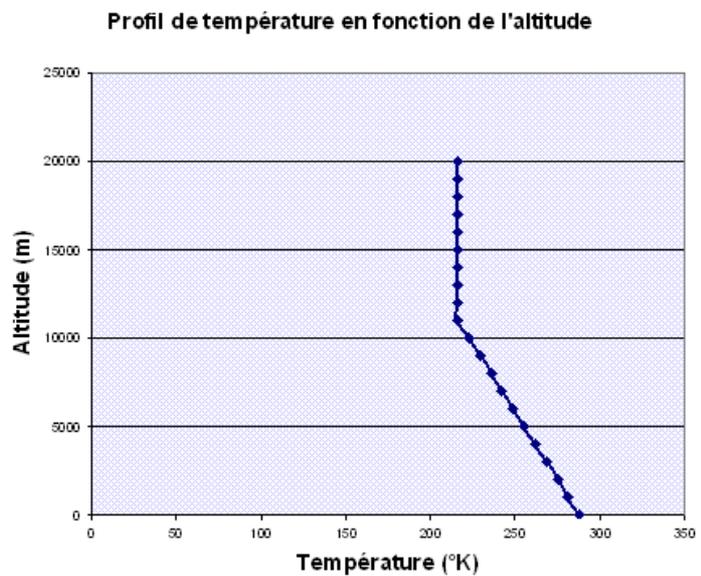
La température de l'atmosphère diminue avec l'altitude à partir du sol jusqu'à la tropopause, puis augmente par la suite à cause de l'absorption des rayons ultraviolets par l'ozone présent dans la stratosphère.

### BUT DE LA MESURE

Le ballon évoluera entre 0 et 25 km d'altitude. Il traversera ainsi la troposphère et la stratosphère.

**Voici la table des températures en fonction de l'altitude et le profil correspondant:**( certifié par l'Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse)

Altitude (m)	Température (°K)
0	288
1000	281
2000	275
3000	268
4000	262
5000	255
6000	249
7000	242
8000	236
9000	229
10000	223
11000	216
12000	216
13000	216
14000	216
15000	216
16000	216
17000	216
18000	216
19000	216
20000	216



Lors de l'ascension du ballon, deux mesures de température seront réalisées :

#### LA TEMPERATURE EXTERIEURE DE LA NACELLE

Le capteur est placé sous la nacelle, dans une cavité évitant qu'il ne puisse être atteint directement par les rayons du soleil. L'objectif est de réaliser une courbe de température permettant de différencier les différentes couches atmosphériques. (décroissance linéaire de la température avant la tropopause, température constante dans la tropopause, croissance régulière après cette zone)

#### LA TEMPERATURE A L'INTERIEUR DE LA NACELLE

Le capteur est placé près de l'électronique. Ainsi, il est facile de vérifier si les conditions de fonctionnement des différents composants sont respectées. Cela permet aussi de vérifier le modèle MATLAB.

## CHOIX DES CAPTEURS

La mesure de la température se fait à l'aide d'un pont diviseur délivrant une tension de sortie proportionnelle à la température.

Les capteurs de températures utilisés sont des thermistances CTN de précision de petite taille. Contre toute attente, leur précision est excellente et leur seul inconvénient est leur éventuel auto-échauffement en atmosphère raréfiée.

Les deux capteurs de température utilisés sont des thermistances CTN 10K

(**RADIO SPARES** : code commande : 191-2263 ; réf fabricant : B57164K103J ) .

Spécifications techniques
Gamme de température: -55°C à +125°C
Puissance dissipée à 25°C: 450 mW
Tolérance: ±5%

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

$$R(T) = R(T_0) * e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$$

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

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

<p><b>Réf EPCOS : K164/10K/5%</b></p> <p><b><math>R(T_0)</math> à 25°C = 10 kΩ</b></p>
--

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

MISE EN ŒUVRE

SCHEMA ELECTRIQUE

Le circuit est alimenté par une tension de 5V.

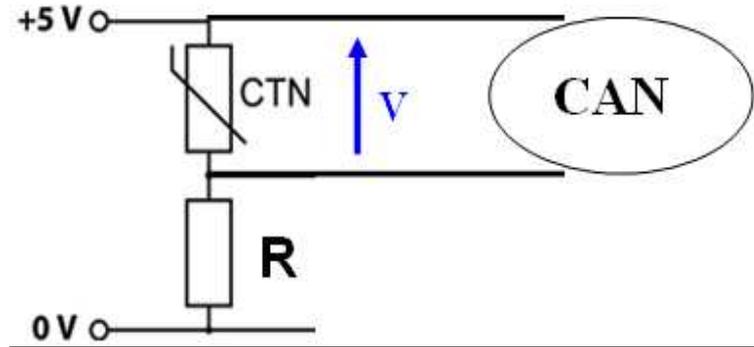


Figure 10 : Pont de mesure température

La tension de l'alimentation 5V (générateur de tension parfait) est constante dans le circuit. On nomme V la tension de sortie. La loi d'Ohm nous permet d'écrire la relation suivante :

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

D'où : 
$$V = \frac{5 * R_{ctn}}{R_{ctn} + R_{fixe}}$$

Soit : 
$$V = \frac{5 * R(T_0) * e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}}{R(T_0) * e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} + R_{fixe}}$$

$$V = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^3 * e^{4300(\frac{1}{T} - \frac{1}{298})}}{10 \cdot 10^3 * e^{4300(\frac{1}{T} - \frac{1}{298})} + R_{fixe}}$$

Avec les valeurs des constantes caractéristiques, on obtient :

Pour la mesure de température :

- à l'intérieur de la nacelle  $R_{fixe} = 36k\Omega$
- à l'extérieur de la nacelle  $R_{fixe} = 72k\Omega$

#### CALCUL D'ERREUR SUR LA TEMPERATURE

L'expression de la température est la suivante :

$$T = \frac{1}{\ln \left( \frac{-R_{fixe}}{\left(1 - \frac{5}{V}\right) \cdot R_0} \right) \cdot \frac{1}{4300} + \frac{1}{298}}$$

(Les courbes prévisionnelles des mesures de température sont en *Annexe*)

#### CALCUL DE DÉRIVÉES PARTIELLES

$$\frac{\partial T}{\partial R_{fixe}} = \frac{-1}{4300 \left( \frac{1}{4300} \cdot \ln \left( \frac{-R_{fixe}}{\left(1 - \frac{5}{V}\right) \cdot R_0} \right) + \frac{1}{298} \right)^2 \cdot R_{fixe}}$$

$$\frac{\partial T}{\partial R_0} = \frac{1}{4300 \left( \frac{1}{4300} \cdot \ln \left( \frac{-R_{fixe}}{\left(1 - \frac{5}{V}\right) \cdot R_0} \right) + \frac{1}{298} \right)^2 \cdot R_0}$$

Soit :

$$\Delta T = \left| \frac{-1}{4300 \left( \frac{1}{4300} \cdot \ln \left( \frac{-R_{fixe}}{\left(1 - \frac{5}{V}\right) \cdot R_o} \right) + \frac{1}{298} \right)^2} \cdot \Delta R_{fixe} + \frac{1}{4300 \left( \frac{1}{4300} \cdot \ln \left( \frac{-R_{fixe}}{\left(1 - \frac{5}{V}\right) \cdot R_o} \right) + \frac{1}{298} \right)^2} \cdot \Delta R_o \right|$$

On a :  $\Delta R_{fixe} = \pm 5\%$

$$\Delta R_o = \pm 5\% \quad \text{d'où :} \quad \Delta T = \left| -1,50 \cdot 10^{-3} \right| * 0,05 + \left| 5,40 \cdot 10^{-3} \right| * 0,05 = 3,45 \cdot 10^{-4}$$

Les tensions des deux capteurs de température seront converties par le CAN (Convertisseur Analogique Numérique) du PIC sur une trame de 256 bits.

On rajoute l'incertitude par la lecture du CAN :  $1 / 256 = 0,4$ .

La valeur de T ( en Kelvin) sera donnée avec une incertitude de  $\pm 0,400345$  soit :  $\pm 0,40$

Ce qui correspond à l'incertitude de lecture sur le CAN.

On en déduit donc que pour réduire cette incertitude, il faudrait une trame avec davantage de bits.

## MESURE DE PRESSION

### BUT DE LA MESURE

Comme chacun sait, la pression diminue avec l'altitude, mais de quelle manière? C'est à partir de ce questionnement que nous avons décidé de montrer de manière expérimentale la variation de ce paramètre en fonction de l'altitude. La pression suivant l'altitude est censée suivre la courbe suivante:

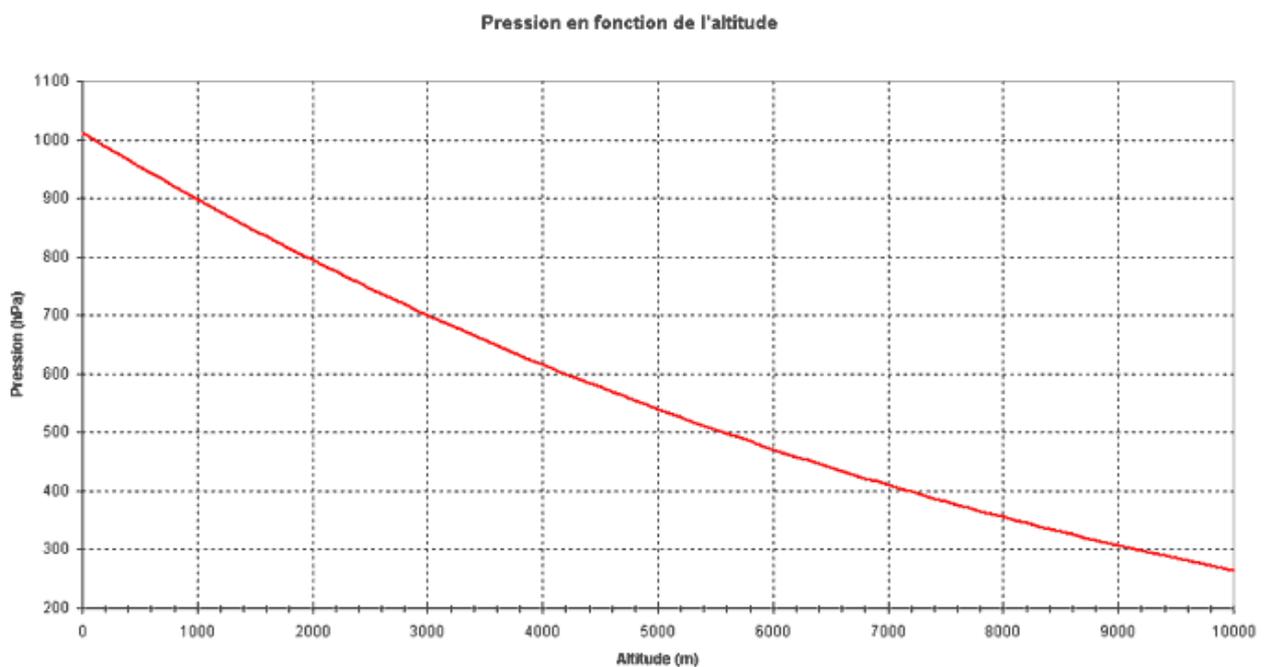


Figure 11 : Pression en fonction de l'altitude

Nous allons donc utiliser un capteur de pression nous permettant de faire un montage qui aura pour objectif de vérifier la courbe suivante de manière expérimentale.

### CHOIX DES CAPTEURS

Nous allons utiliser un capteur de pression de type analogique. En effet, il est possible également d'obtenir la pression à partir de montages utilisant des objets se déformant avec la pression. On peut par exemple utiliser un ballon de baudruche placé dans un cylindre en carton et poussant un potentiomètre linéaire. Cela permettrait d'obtenir la pression en fonction de l'altitude

après étalonnage préalable.

On aurait également pu utiliser un baromètre numérique, mais il n'y aurait alors plus eu aucun intérêt pour le projet. De plus, la conversion de la tension pour le Kiwi se serait avérée plus délicate que dans le cas présent. Ces solutions étant entre autres un peu encombrante, nous nous sommes redirigés sur un montage plus « simple » utilisant un capteur de pression analogique.

Nous avons décidé de choisir le capteur de pression MPX2100A pour ses caractéristiques et sa simplicité d'utilisation (Voir datasheet en annexe).



Figure 12: Capteur de pression  
MPX2100

C'est un capteur différentiel, tel qu'il existe déjà une pression de référence: le vide. Les 4 broches de gauche à droite sur le dessin représentent: la masse, la tension différentielle positive, la tension d'entrée et la tension différentielle négative.

C'est un capteur qui évolue linéairement, ce qui va beaucoup nous aider pour l'étalonnage. Il peut résister à une grande amplitude de température : de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $125^{\circ}\text{C}$ . L'amplitude de température par laquelle le ballon sonde va passer est évidemment comprise dans cette amplitude. Le capteur peut calculer des pressions comprises entre 0 et 100kPa (environ la pression atmosphérique). Cela nous convient tout à fait car la pression va diminuer avec l'altitude, c'est à dire que les pressions mesurées seront toujours inférieures à la pression atmosphérique, soit à 100kPa. De plus, il est à noter que le capteur doit être alimenté avec 10V.

Nous avons donc jugé que ce serait le bon type de capteur à prendre de par ses caractéristiques et de par sa simplicité d'utilisation. De plus, son prix n'était pas extrêmement élevé (moins de 30 euros), argument non négligeable vu notre budget. Le but de notre circuit est alors d'obtenir une plage de tension en sortie comprise entre 0 et 5V, la tension seuil d'entrée du Kiwi. Ces tensions représentent les données du capteur converties linéairement et directement en basse tension. Or, en mettant 10V aux bornes du capteur et en calculant les tensions différentielles, on trouve des tensions de l'ordre du millivolt, ce qui est trop petit. Nous avons donc décidé d'amplifier le signal afin d'obtenir de plus grandes amplitudes de variation de tension. Cela nous permet d'avoir des valeurs bien plus significatives pour la courbe.

#### AMPLIFICATION DU SIGNAL

Nous allons donc utiliser un montage soustracteur pour amplifier le signal en soustrayant les broches 2 et 4 qui représentent les deux tensions différentielles. Nous allons ensuite amplifier le signal grâce à un montage suiveur. Cela nous permettra de nous approcher le plus possible d'une tension de l'ordre de 5V pour la pression atmosphérique. Ainsi, puisque en montant la pression ne cessera de diminuer, la tension ne fera que baisser et n'excédera jamais les 5 volts, ce qui est rassurant pour le Kiwi .

Le montage que nous allons réaliser sera donc de la forme ci-dessus.

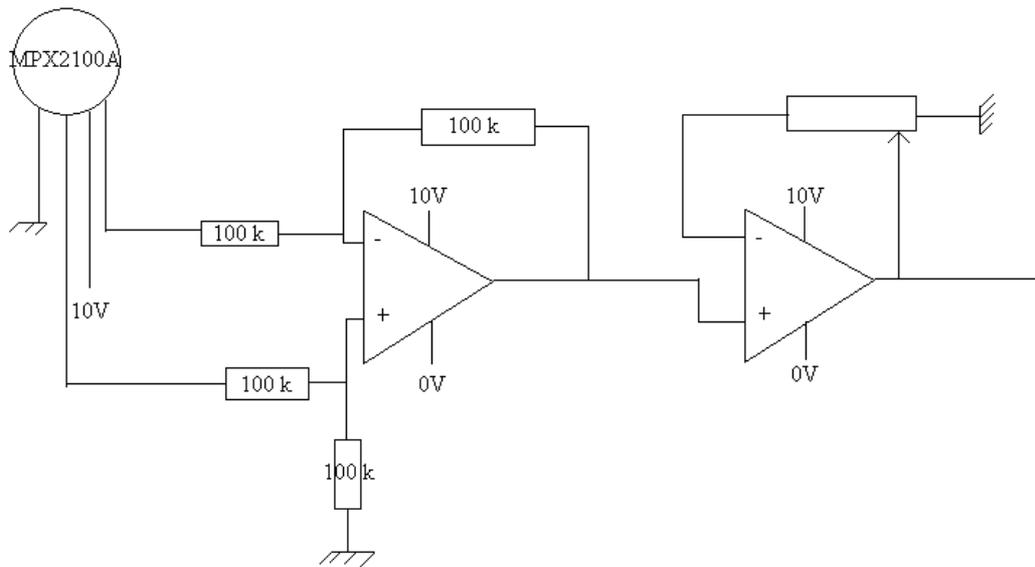


Figure 13 : Schéma du circuit de conditionnement



Figure 14 : Capteur de pression

La pression à l'intérieur de la nacelle étant la même que celle à l'extérieur (en effet cette dernière n'est pas hermétique), nous placerons l'ensemble du montage à l'intérieur, de sorte que le circuit soit protégé un minimum.

Pour la réalisation du circuit, nous avons initialement pensé à utiliser le logiciel Eagle, dont le rôle est de tracer des cartes électronique. Mais devant le manque de temps et le manque de référence pour le capteur au sein même du logiciel, nous avons opté pour la solution classique du circuit « fait main ». Cela s'est d'ailleurs avéré plus rapide et plus sûr, et nous avons tout de même réussi à bien minimiser la taille dudit montage.

Une fois le montage effectué, un étalonnage du capteur était bien évidemment nécessaire. L'idée initiale était d'utiliser une cloche à vide, afin de mesurer la tension à la sortie du montage en fonction de la pression à l'intérieur de la cloche, et ainsi en déduire la variation de tension à la sortie du montage par hectopascal. Cependant aucun des départements n'en possédant une, nous nous sommes rabattus sur une solution de secours consistant à trouver le gain de l'amplificateur opérationnel du circuit. Pour cela, nous avons effectué plusieurs mesures aux bornes de l'amplificateur afin de tracer une « courbe de gain », que nous avons approximé par une fonction linéaire parfaite. Nous en avons déduit le gain de l'amplificateur, et connaissant la variation de tension à la sortie du capteur en fonction de la pression, il était alors facile d'en déduire la variation de tension à la sortie du montage en fonction de la pression.

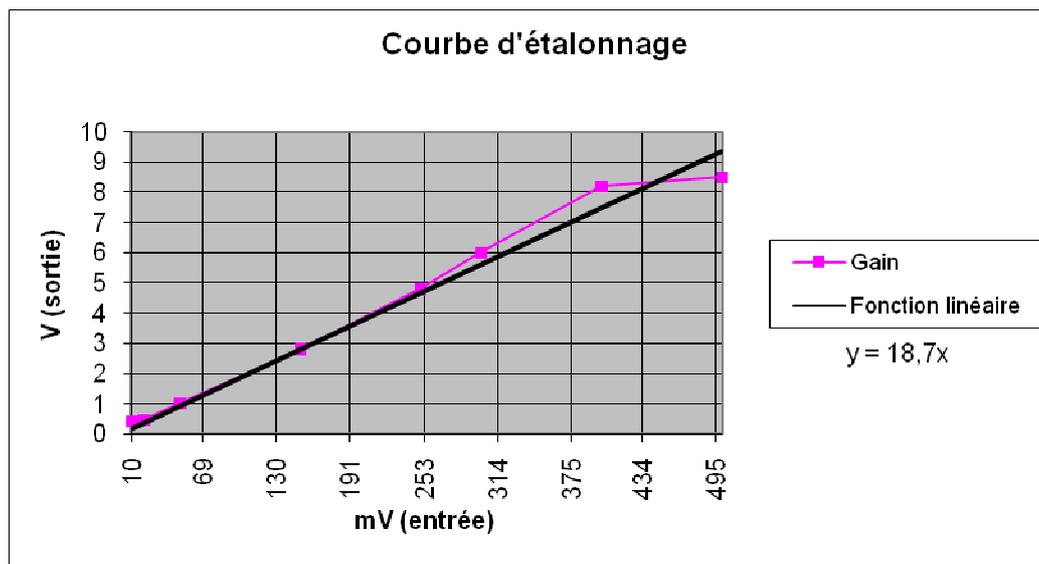


Figure 15 : Courbe d'étalonnage pression

mV(entrée)	10	20	50	150	250	300	400	500
V(sortie)	0,41	0,44	1	2,8	4,8	6	8,2	8,5

La datasheet du capteur nous indiquant une variation de 0,4mV par hPa, et connaissant le gain de l'amplificateur opérationnel qui est de 18,7, nous en avons déduit que la tension en sortie du montage variait de  $18,7 * 0,4 = 7,5 \text{ mV par hPa}$ . Cela nous semble beaucoup plus raisonnable, car nous pourrions alors avoir des courbes avec des valeurs significatives importantes, ce qui nous permettra de les comparer aux courbes de pression en fonction de l'altitude déjà existantes de façon plus précise. De plus, ces valeurs ne poseront aucun problème lors de leur passage par le Kiwi, puisque restant en dessous de 5 Volts tout au long du vol du ballon.

## PHOTOS

En plus des différentes expériences, nous avons décidé de placer un appareil photo Coolpix L10 dans la nacelle. Sa résolution est de 5MPixels et il est équipé d'une carte mémoire d'une capacité de 1Go qui lui permet de prendre 780 photos soit une photo toutes les 10s pendant toute la durée du vol. Celui-ci est placé sur le fond de la nacelle, l'objectif dirigé vers un des côtés. Ainsi, il nous sera possible d'obtenir des photos tout au long de l'ascension du ballon, et plus particulièrement des photos de la courbure de la Terre.

Pour pouvoir obtenir ces clichés il a été nécessaire de modifier le système de déclenchement de l'appareil. En effet celui-ci fonctionnant normalement par pression sur deux interrupteurs (un pour la mise en fonctionnement et l'autre pour la prise de photo), nous avons dû les remplacer par un système d'horloge permettant d'obtenir des prises de vues à intervalles de temps réguliers sans intervention humaine. Pour pouvoir mettre en place ce système nous avons dû démonter l'appareil afin d'accéder aux interrupteurs à remplacer. Puis, cinq fils ont été soudés de la manière suivante :

- Deux permettant d'allumer ou d'éteindre l'appareil
- Trois permettant d'une part de faire la mise au point puis de prendre la photo.

Chacune de ces deux étapes se faisant lorsque les fils correspondants sont mis en contact.

Pour réaliser ce contact, nous avons utilisé une horloge externe dont le schéma de montage est fourni en annexe. Celle-ci nous permet d'obtenir, avec les bonnes valeurs des résistances et des condensateurs, une sortie créneau dont la période est telle que les photos peuvent être prises toutes les dix secondes. Le calcul des résistances pour une valeur de condensateur donnée et pour un intervalle de temps désiré est réalisé à partir de la formule suivante :

$$t = K \cdot R_T \cdot C_{ext} \left( 1 + \frac{0.7}{R_T} \right)$$

où :  $t$  est l'intervalle de temps  
 $K = 0,28$   
 $R_T$  est la résistance à calculer  
 $C_{ext}$  est la valeur du condensateur utilisé

Ce qui nous donne les valeurs suivantes :

$t = 10 \text{ s}$   
 $R_T = 356 \text{ k}\Omega$   
 $C_{ext} = 100 \mu\text{F}$

## AUTOPOSITIONNEMENT

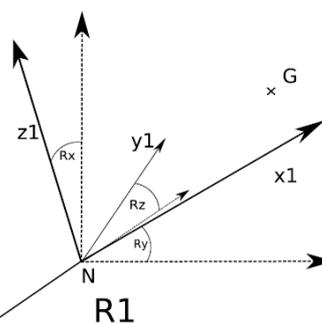
### BUT DE LA MESURE

Il s'agit ici de connaître la position de notre nacelle au cours de son déplacement sans avoir recours à un GPS. Nous utiliserons les lois de composition des accélérations pour obtenir après intégration la position de notre nacelle. Evidemment nous obtiendrons des erreurs liées aux capteurs, à la discrétisation du signal, etc. c'est pourquoi nous embarquerons aussi un GPS. La comparaison permettra d'affiner les coefficients correctifs.

Nous utiliserons pour ce faire un accéléromètre tri axial ainsi que deux gyroscopes bi axiaux. Ces capteurs nous fourniront les accélérations selon les différents axes ainsi que les accélérations de rotation. En effet nous montrerons par des calculs relativement simples que l'on ne peut pas se contenter des accélérations axiales.

### PRINCIPE DE L'AUTO POSITIONNEMENT

Soit un référentiel  $R_1$  en déplacement quelconque par rapport à un référentiel  $R_0$ .  $R_1$  correspond au référentiel lié à la nacelle et  $R_0$  celui lié au sol. Soit  $O$  l'origine et  $N$  le capteur dans la nacelle. Toutes les variables ayant l'indice 1 correspondent au référentiel  $R_1$  et toutes celles ayant l'indice 0 correspondent au référentiel  $R_0$ . Un référentiel  $R_0'$  en mouvement de translation par rapport à  $R_0$  dont l'origine est  $N$ .



Cherchons l'expression du vecteur accélération du centre de gravité G de la nacelle par rapport au sol :

- Vecteur position :  $\vec{OG} = \vec{ON} + \vec{NG}$

- Vecteur vitesse :  $\left(\frac{d\vec{OG}}{dt}\right)_{/R_0} = \left(\frac{d\vec{NG}}{dt}\right)_{/R_1} + \left(\frac{d\vec{ON}}{dt}\right)_{/R_0} + \vec{\Omega}_{R_1/R_0} \wedge \vec{NG}$

- Vecteur accélération :

$$\left(\frac{d^2\vec{OG}}{dt^2}\right)_{/R_0} = \left(\frac{d^2\vec{NG}}{dt^2}\right)_{/R_1} + 2 \cdot \vec{\Omega}_{R_1/R_0} \wedge \left(\frac{d\vec{NG}}{dt}\right)_{/R_1} + \left(\frac{d^2\vec{ON}}{dt^2}\right)_{/R_0} + \left(\frac{d\vec{\Omega}_{R_1/R_0}}{dt}\right)_{/R_0} \wedge \vec{NG} + \vec{\Omega}_{R_1/R_0} \wedge (\vec{\Omega}_{R_1/R_0} \wedge \vec{NG})$$

Où  $\vec{\Omega}_{R_1/R_0}$  est le vecteur vitesse de rotation du référentiel  $R_1$  par rapport à  $R_0$ . Comme nous considérons le point G comme fixe par rapport à  $R_1$  (le capteur est solidement fixé et est considéré comme indéformable !!!) l'équation est finalement :

$$\left(\frac{d^2\vec{OG}}{dt^2}\right)_{/R_0} = \left(\frac{d^2\vec{ON}}{dt^2}\right)_{/R_0} + \left(\frac{d\vec{\Omega}_{R_1/R_0}}{dt}\right)_{/R_0} \wedge \vec{NG} + \vec{\Omega}_{R_1/R_0} \wedge (\vec{\Omega}_{R_1/R_0} \wedge \vec{NG})$$

Les capteurs devront nous fournir les différents termes de cette égalité ou nous pourrons les déduire des mesures précédentes.

## CHOIX DES CAPTEURS

Nous avons choisi des capteurs de petite taille de manière à économiser place et poids dans la nacelle. De plus les capteurs devaient avoir une plage de sortie entre 0 et 5 V correspondant à la plage d'une entrée CAN du PIC. Ils devaient aussi être suffisamment précis pour les accélérations qu'allaient subir la nacelle (jusqu'à 3g). Aussi nous avons choisi les capteurs suivants:

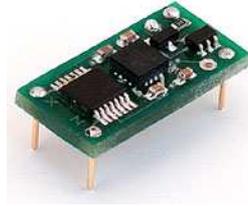


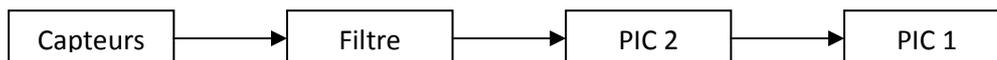
Figure 17: Accéléromètre à Tampon  $\pm 3g$  à Trois Axes Dimension Engineering



Figure 18 : Platine de Déploiement Gyroscope à Deux Axes  $\pm 500^\circ/\text{sec}$

Ces capteurs ont une sortie analogique proportionnelle à l'accélération. Ils présentent cependant un défaut majeur, la température influe sur la sortie. Il faudra donc corriger ce défaut.

## MISE EN ŒUVRE



Chaîne de mesure de l'auto positionnement

Afin de récupérer la tension il suffit en théorie de brancher directement les tensions de sorties aux bornes A/D du PIC. Cependant un bruit de fond gênant nécessite de placer un filtre passe bas entre les capteurs et le PIC. Le filtre passe bas est simplement composé d'une résistance et d'un condensateur.

Il faut de plus isoler le plus possible les capteurs thermiquement et électriquement. C'est pourquoi nous avons placé les capteurs de position dans une boîte protectrice en polystyrène extrudé (le même que celui utilisé pour la nacelle) recouverte de papier aluminium.

C'est à la réception des données sur Terre qu'est effectué le calcul d'auto positionnement. Une classe a ainsi été créée pour compléter le programme de réception. Les méthodes de cette classe peuvent indiquer la position de la nacelle, la position corrigée en température, et les écarts de position entre la position GPS et la position de la nacelle. Ces écarts permettront ainsi d'évaluer l'erreur pour notre système.

# LE LACHER

## DATE PREVUE

La date prévue du lâcher est le samedi 7 juillet. Cette date a été choisie en concertation entre les différents membres de l'équipe, Yvan Allain l'aérotechnicien qui nous aidera à le faire, notre tuteur Jérôme Donnard et l'Ecole.

## LIEU

Le lieu choisi est le terrain de l'Ecole des Mines de Nantes. Ce choix s'est aussi fait en concertation entre les différents membres du projet. Nous avons préféré lâcher le ballon depuis l'Ecole et pas lors de la campagne nationale de lâcher organisée par Planète Sciences à la Courtine dans la Creuse fin juillet car l'équipe aurait été loin d'être au complet. Certains d'entre nous rentrent en effet chez eux pendant ces grandes vacances et ne peuvent pas en revenir pour quelques jours.

Nous avons donc demandé une autorisation auprès de M. Bacou, secrétaire général de l'Ecole. Il nous l'a donnée et nous l'en remercions.

Enfin nous avons montré ce terrain à Yvan Allain, puisque une base de lâcher doit répondre à un cahier des charges assez précis : pas de bâtiment dans un rayon de 50m, pas de lignes haute tension, relatif éloignement des couloirs aériens. Le terrain de l'Ecole lui a semblé adapté à notre projet.

## AIDE D'UN AEROTECHNICIEN

Le lâcher d'un ballon ne peut être effectué que par un aérotechnicien qualifié. C'est pourquoi nous avons demandé à Planète Sciences l'assistance de l'un de leurs aérotechniciens. C'est M. Allain qui effectuera le lâcher.

## DIFFICULTES RENCONTREES

### CHOIX DE L'EXPERIENCE PRINCIPALE

Nous avons très vite su quelles expériences secondaires nous allions faire (température, pression...). Cependant, il a été plus difficile de choisir l'expérience principale. Nous avons pensé à plusieurs expériences :

Tout d'abord, nous pensions faire une mesure de l'ozone mais cette idée a été abandonnée car cette expérience a déjà été souvent organisée par d'autres projets ballons.

Ensuite, nous pensions faire une expérience de spectrophotométrie pour mesurer la composition de l'atmosphère. Cependant, cette expérience de spectrophotométrie embarquée était très difficile à mettre en œuvre car les composants sont très lourds et nous devons dans cette expérience faire rentrer de l'air dans la nacelle ce qui rajoutait une difficulté supplémentaire.

Enfin, nous avons donc pensé faire une expérience sur le positionnement qui par le biais de gyroscopes et accéléromètres permettra une étude d'auto positionnement. Cette étude aura pour but de comparer les données entre ce système d'auto positionnement et les données du GPS.

### DIFFICULTES AVEC PLANETE SCIENCE

Nous avons eu certaines difficultés de communication avec planète science surtout au niveau administratif avec le financement par la taxe d'apprentissage. Nous avons toujours très bien été accueilli au téléphone et très bien conseillé mais un problème de lenteur nous a handicapé pour faire une prospection des entreprises efficace. Par exemple, nous avons attendu plus de trois semaines pour avoir les bordereaux de versement (et plus de 5 appels téléphoniques).

Nous avons regretté également une formation à Toulouse où nous étions invités mais qui ne correspondait pas à notre projet. En effet, cette formation sur la télémessure était plutôt destinée à un public jeune plutôt qu'à des élèves-ingénieur. La formation qui nous aurait plus intéressé sur la télémessure numérique était plus spécialement destinée aux équipes travaillant sur les fusées, ce qui explique que nous n'en ayons été informés que trop tard.

## RESULTAT ATTENDU

### TRAVAIL DE GROUPE

Ce projet nous a permis de voir les avantages mais aussi les difficultés du travail en groupe. En effet, nous avons un groupe qui se complétait assez bien apportant ainsi des résolutions à de

nombreux problèmes. Le travail en groupe a donc permis d'avancer rapidement et la cohésion et la discussion entre les membres du groupe a de nombreuses fois permis de résoudre des problèmes.

Cependant, la taille du groupe (8 personnes) a parfois posé problème. En effet, la communication entre tous les membres du groupe était parfois délicate. Notre principal moyen de communication était une liste de diffusion destinée à l'ensemble des membres du groupe : [ballon@emn.fr](mailto:ballon@emn.fr). Avant la panne et la perte irrémédiable des données de son disque dur, nous avons utilisé le Wiki de Gogole, le serveur de la Maison des Elèves pour enregistrer notre avancement et les étapes restantes. Ensuite, un point d'avancement était fait tous les mardis matin. Un mail récapitulatif des points à aborder était d'ailleurs envoyé en amont. Il aurait été peut-être nécessaire d'en faire un en aval pour ratifier les points évoqués le mardi matin et ainsi améliorer le suivi. Nous avons rencontré le tuteur, Jérôme Donnard, aussi très régulièrement pour lui faire part de l'avancement du projet.

Malgré tout ces efforts tous les membres n'étaient pas au courant de l'avancement très précis des autres. Seuls le chef de projet et les deux chefs de pôles l'étaient complètement.

De plus, plus le groupe est nombreux plus un consensus entre chaque membre était difficile. A cause de ce point nous avons certainement du perdre du temps notamment lors de la prise de décision de l'expérience principale et de la répartition des tâches au début du projet.

Nous avons dû gérer ce problème en ayant une organisation du groupe encore plus rigoureuse et en passant du temps à faire des réunions, des plannings et des mails d'avancement hebdomadaire pour tenir à jour les tâches faites et restantes. Cela nous a permis de nous rendre compte que le temps passé sur le projet en lui-même (partie technique) serait bien court, notamment au niveau du chef de projet, si nous n'avions pas travaillé en dehors des horaires consacrés.

Un élément particulièrement structurant pour le groupe a été la mise à disposition de la salle B316 pour entreposer notre matériel,

Au niveau des horaires, hormis les 4 heures consacrées le mardi matin, nous avons passé bon nombre de week-end et soirée sur le projet. En moyenne le temps passé à travailler en dehors des horaires est équivalent à ce dernier. Cela représente donc environ 8h par semaine d'octobre à mi-juillet. Il faut savoir aussi qu'il ne s'agit là que d'une moyenne et qu'il est évident que le temps passé par semaine sur le projet était variable en fonction de la charge de travail en dehors à laquelle nous devons faire face. Depuis mi-mai ce quota a largement augmenté.

## FINANCEMENT ET COUT DU PROJET

### RECHERCHE DE FINANCEMENT

Pour ce projet, nous avons besoin de financement car plusieurs matériaux sont assez onéreux. Plusieurs solutions s'offraient à nous.

1. Sponsors : Par le biais de publicité, nous aurions pu récolter de l'argent. Cependant, cette possibilité était difficile à mettre en place car lors du lancer du ballon peut de personnes seront présentes (donc l'impact publicitaire de sponsors serait faible) et il nous est difficile de faire de la publicité sur la nacelle d'un ballon sonde.
2. Collecte de matériaux : Nous avons pu récupérer quelques matériaux dans l'atelier mécanique de l'école des Mines (nid d'abeilles) et autres composants électroniques.
3. Taxe d'apprentissage : le faite de travailler avec Planète Sciences, nous permet de collecter la taxe d'apprentissage des entreprises. En effet, Planète Sciences est un organisme habilité à collecter la taxe d'apprentissage pour ensuite nous la reverser.

Dès lors, nous avons commencé à nous intéresser à cette possibilité. Tout d'abord, nous avons contacté Planète science pour qu'il nous fournisse un bordereau de versement à envoyer aux entreprises. Ensuite, nous avons cherché différentes entreprises dans la région principalement suivant différentes pistes :

- 3.1. Des entreprises dont des personnes de l'entourage de l'équipe ballon travaille. Cependant, cette piste n'a rien donné.
- 3.2. Des entreprises travaillant avec l'école. Là aussi, les possibilités étaient réduites car cette taxe d'apprentissage est très importante pour les établissements scolaires et donc par souci de cohérence nous ne pouvions pas solliciter des entreprises reversant déjà leur taxe à l'école.
- 3.3. Nous avons alors trouvé une première liste d'entreprise dans la région. Puis, nous avons contacté des entreprises en Vendée pour être sur de ne pas interférer avec des entreprises partenaires de l'école. Nous nous sommes déplacés dans plusieurs sociétés mais souvent sans succès car les sociétés reversent souvent leur taxe à des organismes depuis des années et ne peuvent pas se permettre de changer. Enfin, nous avons alors décidé de passer plusieurs dizaines d'appels téléphoniques pour faire un premier tri et ensuite selon les réponses fournies lors de l'appel téléphonique nous envoyions un courrier expliquant notre projet et le bordereau de versement.

Tout ce travail est malheureusement resté infructueux. Nous avons pourtant consacré beaucoup de temps à cette tâche mais nous avons vite compris que la taxe d'apprentissage était très difficile à obtenir car les entreprises ont déjà leur habitude de versement.

Enfin, nous avons essayé d'obtenir un financement au près du BDE mais qui nous a répondu négativement car pour eux nous n'étions pas un « vrai club » mais un projet OSE ayant besoin d'une boîte aux lettres. Pour recevoir ce financement nous aurions du faire participer des élèves qui n'auraient pas participé dans le cadre d'OSE.

Finalement, le financement a été réalisé par l'école des Mines et par nos frais.

L'ensemble du coût est consultable en annexe.

## CONCLUSION

Ce projet nous a apporté de nombreuses compétences :

Tout d'abord, nous avons acquis de nombreuses connaissances dans divers domaines tel que l'électronique, la thermique... Nous avons certes rencontré de nombreuses difficultés mais avec l'aide des chercheurs de l'école et de notre tuteur, nous avons pu ensemble surmonter cela. Ainsi, nous avons pu élargir nos compétences techniques et scientifiques.

Ensuite, cette étude nous a permis de développer la gestion d'un groupe et du temps dans un projet. En effet, nous avons à gérer à la fois les échéances et un groupe de 8 personnes. Ainsi, ce projet nous a permis d'apprendre à gérer l'avancement d'un projet et de faire face aux différentes difficultés : financement, gestion du temps en autres.

# BIBLIOGRAPHIE

## Livres:

### **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**

Handbook of heat transfer.

Atelier Visual Basic 6.0 5ème édition Microsoft Press.

Programmer des composants avec Visual Basic 6.0 Microsoft Press.

The quint essential Microcontroller Sid Katzen.

Les microcontrôleurs PIC Christian Tavernier.

## Sites internet :

### Alimentation :

<http://www.duracell.com/oem/primary/alkaline/alkcapacity.asp>

### GPS :

<http://www.nmea.org/>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Nmea>

### Nacelle :

<http://www.ffme.fr/technique/meteorologie/theorie/atmosphere/composition.htm>

[http://www.planete-sciences.org/espace/pages\\_clubs/mouisoscope\\_furobalex\\_2005.pdf](http://www.planete-sciences.org/espace/pages_clubs/mouisoscope_furobalex_2005.pdf)

### Programmation Java :

<http://java.developpez.com>