



25 MAI 2018

RAPPORT FINAL

BALLON SONDE

PIERRE-ANTOINE BOU
LORENZO BERNIER
IBRAHIM EL SUCCAR

ECOLE CENTRALE DE MARSEILLE
S8 - SISN

TABLES DES MATIERES

I - ELECTRONIQUE EMBARQUEE

- 1) Instrumentation
- 2) Communication

II - MECANIQUE DU VOL

- 1) Vol
- 2) Protection de la charge utile

III - PREPARATION DU VOL

- 1) Phase de vol
- 2) Prévision de la trajectoire

IV - ANNEXES

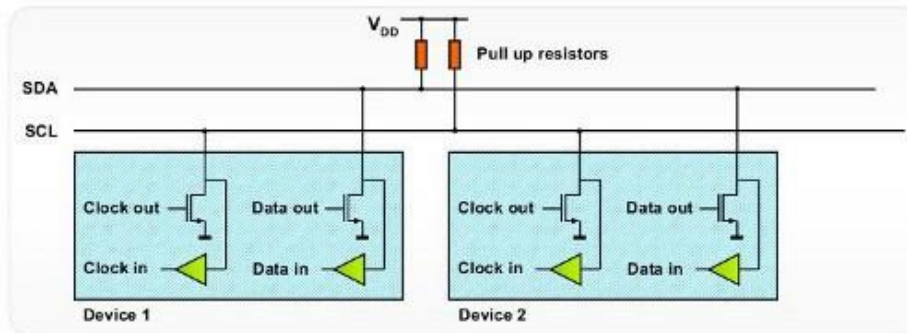
ELECTRONIQUE EMBARQUEE

INSTRUMENTATION

Il y a des milliers de composants qui utilisent une interface I²C, et les cartes de la famille Arduino peuvent toutes les contrôler. Des milliers de composants qui utilisent une interface I²C, et les cartes de la famille Arduino peuvent toutes les contrôler.

I²C est le sigle d'*Inter-Integrated Circuit*. Ce protocole de communication permet de réduire le nombre de lignes nécessaires à seulement deux lignes, SDA - *Serial Data*, et SCL - *Serial Clock*.

En ce qui concerne l'architecture matérielle, le câblage est très simple. On utilise les connecteurs A4 pour SDA (les données) et A5 pour SCL (l'horloge) de l'arduino Nano.



- 2 wire bus:
 - SDA: Serial Data Line
 - SCL: Serial Clock Line

Avec un seul équipement I²C connecté à l'Arduino, les résistances de tirage au plus (*pull-up resistors*) ne sont pas (normalement) requises, car le microcontrôleur ATmega328 de l'Arduino les intègre déjà. Or ici on utilise deux capteurs (centrale inertielle et capteur de température /pression), d'où les deux résistances de 10 k Ω en pull-up.

COMMUNICATION



Afin de transmettre les données et mesures des capteurs, le ballon sonde est équipé d'un module de communication GSM/GPS compatible avec la Raspberry Pi. Ce module est livré avec un adaptateur d'alimentation, un câble micro USB, une antenne GSM, une antenne GPS et une

antenne Bluetooth.

Une carte SIM est nécessaire pour pouvoir envoyer des SMS.

L'idée est de transmettre toutes les données et mesures par SMS à intervalles de temps régulier.

Schéma de la communication que l'on propose :



Concernant l'intervalle de temps, on choisit 10 secondes. Cela permet de trouver un compromis entre masse de données totale et fréquence d'acquisition des mesures.

En effet, un SMS est composé de 140 caractères codés sur 8 bits.

La taille d'un SMS est donc de 140 octets.

On a donc un débit de $140 \times 6 = 840$ octets/minute.

Concernant la caméra, on est à 144 Mo/minute de vidéo en 1080p à 30 FPS.

En choisissant une carte SD de 64 Go, cela garantit un temps de vol de 7,5 heures, ce qui est amplement suffisant.

Les mesures envoyées par SMS sont aussi stockées dans une carte SD avec le clip vidéo. Ainsi s'il y a interruption de la communication GSM, on pourra toujours accéder aux données en récupérant le ballon sonde.

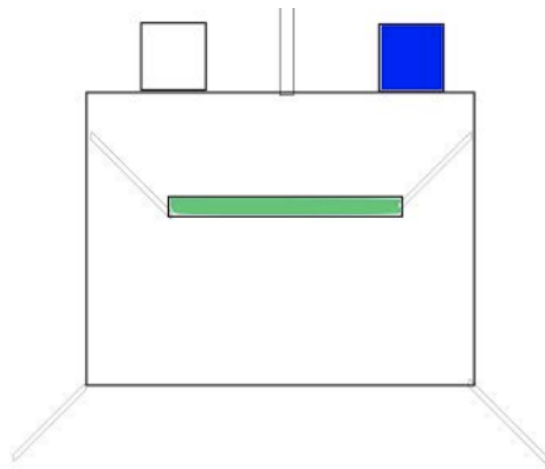
MECANIQUE DU VOL

APPLICATION AU VOL

Afin de permettre le relevé de mesures en hautes altitude, nous avons utilisé un ballon pour haute altitudes. Ce ballon a pour objectif d'atteindre une altitude d'environ 20 à 30 Km d'altitude.

Ce ballon est rempli d'hélium afin d'atteindre cette altitude.

Afin de permettre le décollage, il nous faut appliquer un bilan des forces à notre boîtier.



De plus, on considère que notre système a un poids inférieur au poids maximum autorisé par la législation. Dans notre cas, le poids maximum légale est de 4 Kilogrammes.

La poussée d'Archimède est égale au poids du volume d'air déplacé c'est à dire le volume de l'espace qu'occupe l'ensemble de la chaîne de vol. Dans le cas d'un ballon c'est l'enveloppe qui contribue essentiellement à cette poussée. Si V est le volume du ballon, la poussée d'Archimède vaut :

$$F_{Archimède} = \rho V g$$

Avec ρ la masse volumique de l'air et V le volume du ballon

Au sol d'après les abaques, $\rho = 1,176 \text{Kg.m}^{-3}$

Ainsi, la condition de vol est :

$$\rho V > M$$

Avec M la masse du ballon ($P = Mg$)

Dans le cas extrême, si on a une masse de 4 kg, la quantité d'hélium est de 3,40 m^3 . Nous considérons dans notre cas que le ballon sonde a un poids de 1 Kg. Ainsi, on obtient une valeur de 0,85 m^3 . En effet le poids de nos composants électroniques est de l'ordre de 500g.

PROTECTION DE LA CHARGE UTILE

La charge utile outre le transport des capteurs dans un environnement hostile doit permettre aux capteurs d'être protégés de la température négative (environ -40°C).

Le modèle arbitraire utilisée pour réaliser les calculs approchés de température est le modèle ISA (International Standard Atmosphere). Le diagramme de température ci-dessous correspond au standard ISA est affichée en annexe.

Lors de notre ascension à environ 30 km, la température est de l'ordre de -40°C. Les appareils électroniques nécessitent d'être protégés du froid pour éviter d'être endommagés.

La structure de la nacelle sera composée de plaque de mousse de polystyrène extrudé (d'épaisseur 4 cm). En effet, cette mousse est utilisée pour isoler thermiquement les cloisons.

Le matériau est facile à découper et à coller.

La nacelle dispose en son centre d'un trou permettant le visionnage du sol lors de l'ascension. Le dispositif est séparé de l'extérieur par une plaque de plexiglas transparent.



Figure 1 Photo du type de nacelle retenu, avec une structure externe en polystyrène pour allier légèreté et excellente isolation

PREPARATION DU VOL

Afin de réaliser un tel projet en toute légalité et sécurité, il est nécessaire d'obtenir l'ensemble des autorisations nécessaires au lancement d'un ballon sonde dans l'atmosphère terrestre. Pour cela nous avons discuté avec Cédric Perrotey, élève ingénieur à l'Ecole Centrale Marseille en première année, qui avait réalisé avec son lycée un lancement de ballon sonde en partenariat avec l'association Planète Science et le CNES. Nous avons donc récupéré le contact auprès de cette association, Coralie Tholimet, afin de connaître les modalités de lancement de vol. Après échanges, nous avons recueilli toutes les informations nécessaires pour faire valider un tel projet, à savoir :

- Dépôt des dossiers avant mi-septembre pour un lancement courant 2019
- Poids de la nacelle ne dépassant pas 2,5 kg
- Altitude maximale de 30 km
- Ballon sonde, réflecteur radar et parachute fournis par leur partenaire : le CNES

Etant donné les dates du projet PTS8 SISN, nous avons convenu avec notre tuteur Monsieur Bourennane et l'encadrant des projets PTS8, Monsieur Daucé, que notre projet pourra se réaliser sur 2 ans voire plus.

En effet, nous avons réalisé une partie du module embarqué comportant les capteurs, et nous avons effectué l'ensemble des commandes nécessaires pour la reconduction du projet l'an prochain.

Par ailleurs, afin de préparer le vol, calibrer nos capteurs et nos outils de transmissions, nous avons également commandé les éléments suivants :

- Ballon de 0,40 m³
- 0,43 m³ d'hélium
- 100m de fil de nylon renforcé

Ces 3 éléments permettent un lancement de ballon dit "Captif" afin de vérifier le bon fonctionnement des composants. Cet essai captif permettra la validité de notre projet et si le test est concluant, le ballon sonde pourra être lancé en altitude.

PHASE DE VOL ET DETERMINATION DE LA TRAJECTOIRE

Le déroulement du vol est le suivant :

1. Lancement depuis une base choisie par l'association Planète Science.
2. Dès le lancement, transmission des éléments suivants en temps réel à l'aide de notre système GSM :
 - a. Altitude
 - b. Position GPS

- c. Pression
- d. Température
- e. Taux de particules fines

Note : les éléments a) et b) seront prioritaires. En cas de surcharge du réseau GSM, nous enverrons que ces 2 éléments essentiels afin d'assurer le calcul de la trajectoire à l'aide de notre logiciel **Balloon Track** (cf. Annexe).

3) Au sol, en parallèle, à l'aide d'un ordinateur muni d'une connexion internet et du logiciel Balloon Track, nous calculons en direct le point de chute probable de notre ballon sonde afin d'augmenter nos chances de le retrouver. D'après l'association Planète Science, environ 2 ballons sur 3 sont retrouvés.

4) Phase d'ascension du ballon avec acquisition des données et transmission.

5) A 30 km d'altitude le ballon éclate, début de la phase de chute, ouverture du parachute. A ce stade, nous augmentons la fréquence de transmission des données de géolocalisation, afin d'optimiser le calcul du point du chute.

6) Phase d'atterrissage

a) Une fois l'atterrissage effectué ainsi que le calcul terminé, nous obtenons les coordonnées du point du chute par la prévision du logiciel. Ces prévisions serviront en cas d'atterrissage dans une zone non couverte par le réseau GSM (il sera alors impossible d'envoyer les coordonnées GPS par SMS).

b) En cas d'atterrissage dans une zone couverte par le réseau GSM, nous enverrons simplement les positions GPS par SMS.

7) Phase de récupération. Selon le cas observé a) ou b), nous irons en voiture récupérer le ballon sonde ainsi que l'ensemble des composants.

ANNEXES

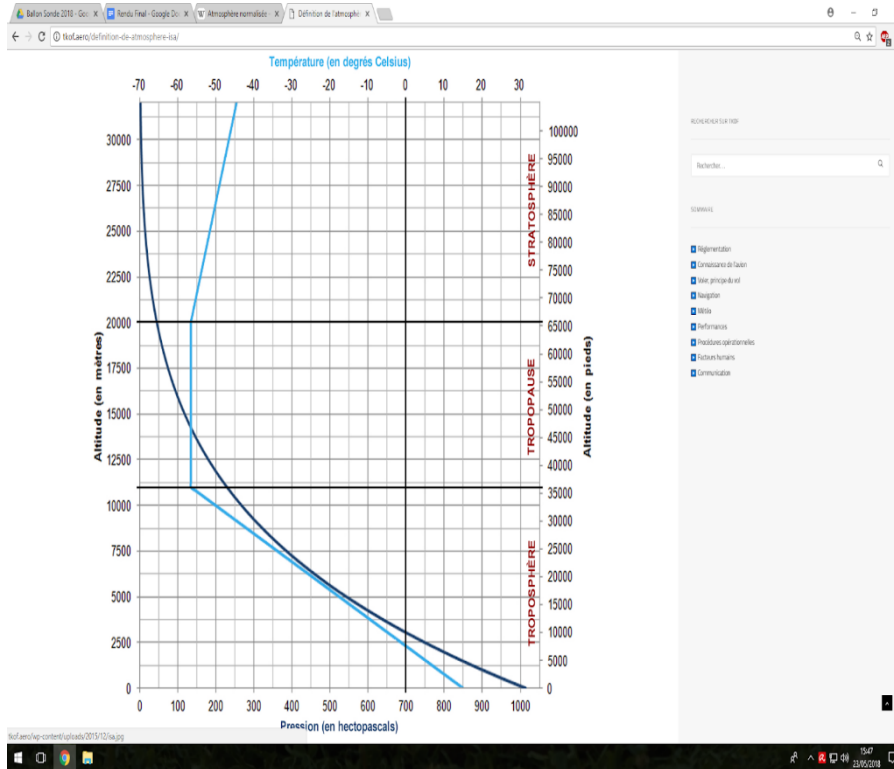


Diagramme ISA de l'évolution de la température

Échanges de mails avec Carolle Tholim de planète sciences



Lorenzo Bernier <lorenzo.bernier@gmail.com>

24 mars

À coralie.tholim., jcdesarnaud

Bonjour Madame Tholimet,

Nous sommes étudiants à l'Ecole Centrale Marseille et nous avons comme projet l'envoi d'un ballon sonde. J'ai eu votre contact par Jean-Claude Desarnaud qui m'a conseillé de vous contacter à ce sujet.

Conscient de la nécessité d'obtenir des autorisations officielles pour envoyer un tel engin dans le ciel français (autorisations délivrées par le CNES il me semble), je me permets de vous contacter afin de connaître les modalités de lancement pour un ballon sonde.

Nous souhaitons, si cela est possible, réaliser les éléments suivants de notre ballon sonde:

- La partie acquisitions de mesures dans un boîtier par différents capteurs (températures, pressions, particules fines, altitude, vitesse) ainsi que 3 caméras de type GoPro alimentées sur batteries.

- La partie transmission de données. Pour cela, nous réfléchissons actuellement à plusieurs modes de transmissions avec notre tuteur de projet à l'Ecole: Pr Salah Bourennane et nous pensons nous orienter vers un système de télécommunication de type GSM piloté par Raspberry Pi.

- La partie localisation avec une puce GPS connectée à notre module de transmission afin de récupérer un suivi en temps réel pour aider à retrouver le ballon une fois retombé.

Ainsi nous souhaitons réaliser la nacelle (2,5kg maximum il me semble) et utiliser le ballon ainsi que le réflecteur radar fournis par votre association ou le CNES.

Est-il possible de connaître le prix d'un tel lancement, les dates disponibles et les lieux disponibles, ainsi que les démarches à suivre?

Merci de votre réponse,

Je vous souhaite une bonne journée,

Lorenzo Bernier,
Élève ingénieur à l'Ecole Centrale Marseille

Bonjour,

Nous organisons en effet des lâchers de ballons expérimentaux stratosphériques avec des établissements scolaires ("Un Ballon Pour l'École") ainsi qu'avec des clubs.

Nous mettons à disposition le matériel nécessaire à la réalisation de ce projet (enveloppe, parachute, réflecteur), l'hélium et nous mettons à votre disposition une personne habilitée pour effectuer le lâcher de ballon en fin de projet. La construction de la nacelle ainsi que l'ensemble des expérimentations sont à la charge du club.

Quant aux lieux et dates des lâchers, ils sont définis par le club et approuvés par nos aérotechniciens qui doivent auparavant valider votre nacelle qui elle, doit respecter le cahier des charges.

Pour pouvoir réaliser ce type de projet vous devez être adhérent à notre association Planète Sciences. Vous trouverez toutes les informations nécessaires sur notre site internet:

http://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/Projets_Espace_Etudiants.pdf

A ce stade de l'année je vous invite donc à vous inscrire dès cet été pour la rentrée prochaine via ce lien:

<http://www.planete-sciences.org/espace/Pratiquer/En-club/>

La date limite des dépôts de dossiers est fixée à mi-septembre puis la sélection des projets sera réalisée par le CNES.

Bien cordialement,



Coralie Tholimet
Chargée de mission opération Ballons
Rocketry Challenge - 01 69 02 23 90

Logiciel Balloon Track:

Caméra :

- Référence : AUSDOM AW335 Webcam USB 1080p
- Caractéristique :
 - Définition : 1920x1080p HD
 - Microphone intégré
 - Connecteur USB 3.0 / 2.0 USB Plug and Play
 - Réglable et multifonctionnel, 360 omnidirectionnel, 30 po de supports réglables et mise au point manuelle.
 - Technologie de filtrage silencieuse et intelligente, elle possède une fonction d'annulation du bruit du microphone, elle transmet un bon son même dans une pièce bruyante
 - Dimensions : 6,6 x 13,5 x 3,5 (en cm)
 - Poids : 122 g

Module de communication GSM/GPS

- Référence : Raspberry Pi GSM/GPRS/GNSS HAT Expansion Board GPS Module SIM868
- Caractéristique :
 - Compatible Raspberry Pi 2B/3B/3B/Zero/Zero W
 - Supports SMS, phone call, GPRS, DTMF, HTTP, FTP, MMS, email, etc.
 - Support GPS, COMPASS, Glonass, LBS base station positioning, omni-positioning

- Bluetooth 3.0, supports data transferring through Bluetooth
- Dimension du produit : 5 * 3 * 2 cm
- Poids : 68 grammes

Batterie d'alimentation :

- Référence : Batterie Lithium pour Alimentation pour Raspberry Pi 3 Pack Carte d'extension + 1 Câble USB
- Caractéristiques :
 - Conçue spécialement pour Raspberry Pi, peut le faire fonctionner pendant 9h.
 - Double entrées USB.
 - Vendu avec un câble spécial micro USB et 2 cartes acryliques
 - Capacité de batterie : 3800mAh Maximum Tension de sortie : 1.8A
 - Type de Batterie : Lithium
 - Poids : 200 grammes

Capteur de température et pression :

- Référence : Capteur de température et de pression ADA2651
- Caractéristiques :
 - Ce capteur est basé sur le circuit BMP280 et mesure la pression atmosphérique, la température et l'altitude. Il communique avec un microcontrôleur type Arduino ou compatible via le bus I2C ou SPI.
 - Alimentation : 3,3 à 5 Vcc
 - Plages de mesure :
 - Température : -40°C à 85°C
 - Pression : 300 à 1100 hPa
 - Altitude : en fonction de la pression
 - Précision :
 - Température : ±1°C
 - Pression : ±1 hPa
 - Altitude : ±1 m
 - Poids : 1,3 gr
 - Communication : I2C et SPI

Centrale Inertielle :

- Référence : Module 9 DOF MinIMU-9 V5 2738
- Caractéristique :

Ce module Pololu 9 DOF composé d'un module accéléromètre/gyroscope (LSM6DS33) et d'une boussole (LIS3MDL) communique avec un microcontrôleur via le bus I2C.

- Alimentation : 2,5 à 5,5 Vcc
- Consommation : 5 mA
- Interface I2C
- Plage de mesure :
 - Gyroscope : ± 125 , ± 245 , ± 500 , ± 1000 ou ± 2000 °/s
 - Accéléromètre : ± 2 , ± 4 , ± 8 ou 16 g
 - Boussole : ± 4 , ± 8 , ± 12 ou ± 16 gauss
- Dimensions : 20 x 13 x 3 mm