



RAPPORT DE PROJET SP-01



Mathieu COQUELLE-GRANDSIMON

Malo AMARANTI

Table des matières

Membres du projet :	3
Remerciements :	3
Description mécanique :	4
Bloc Propulsion	5
Bloc parachute	7
Boîte électronique	7
Coiffe	9
Fuselage	10
Description électronique	11
Carte séquenceur	11
Carte interface	12
Carte expérience 1	13
Carte expérience 2	14
Carte caméras	14
Expériences	15
Déroulement du vol	16
Résultats et analyse des données	19
Rétrospective du vol	22
Projet Unknown	24
Abréviations	24
Préface	24
Remerciements	24
Organisation du Projet	24
Expériences du Projet	25
Composants électroniques intégrés	25
Schéma électronique	26
Circuit imprimé	27
Vue 3D du circuit imprimé	27
Intégration mécanique du module Unknown	27
Paramètres du Software	28
Résultats du vol	29
Traitement des données post vol	30

Membres du projet :

- Chefs de projet : Malo AMARANTI et Mathieu COQUELLE-GRANDSIMON.
- Equipe structure : Malo AMARANTI, Matthieu SANDRE, Sarah ZIDI et Nathan TURINI.
- Equipe électronique : Malo AMARANTI, Mathieu COQUELLE-GRANDSIMON, Nathan TURINI, Matthieu SANDRE, Thibaut BLANC et Alban Noirtin.

Remerciements :

Au cours de ce projet de fusée expérimentale s'étant déroulé du 03/09/2023 jusqu'au 13/07/2024, Malo et moi-même avons eu la chance de bénéficier du support inconditionnel de nos membres et tenons à les remercier tout particulièrement car sans leur effort collectif, ce projet n'aurait pas abouti.

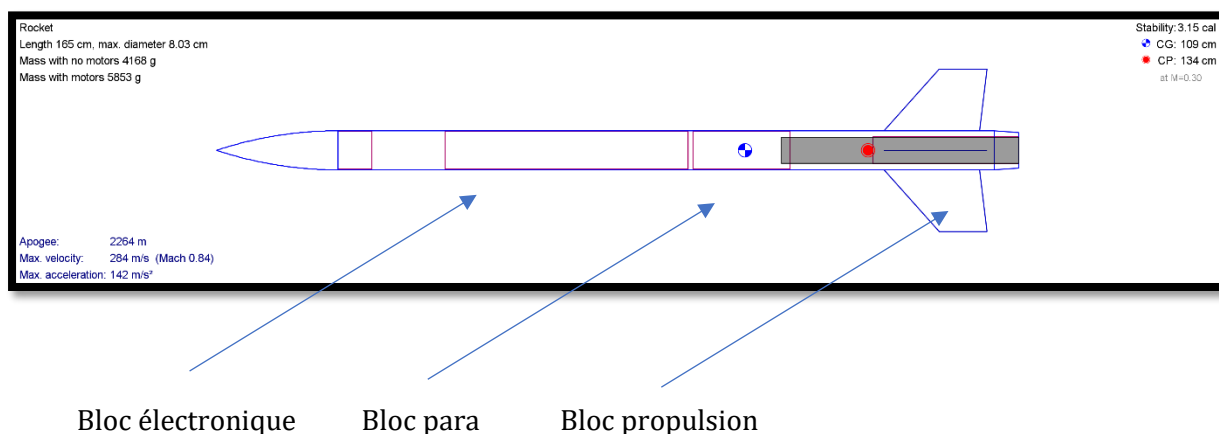
Nous souhaitons aussi remercier le bureau de l'association AéroIPSA pour avoir eu confiance en notre capacité à réaliser ce projet et pour avoir été présent lorsque nous en avons eu besoin. Nous sommes également très reconnaissant envers nos aînés de l'association qui nous ont aiguillé en cas de doutes, tout particulièrement Julien Denat.

Nous remercions également toute l'équipe de Planète Science pour avoir organisé cette édition 2024 du C'Space ainsi que pour leur aide et leur compréhension en cas de problèmes.

Enfin, nous remercions chaleureusement Azimuth, notre sponsor, ayant participé au financement du projet.

Description mécanique

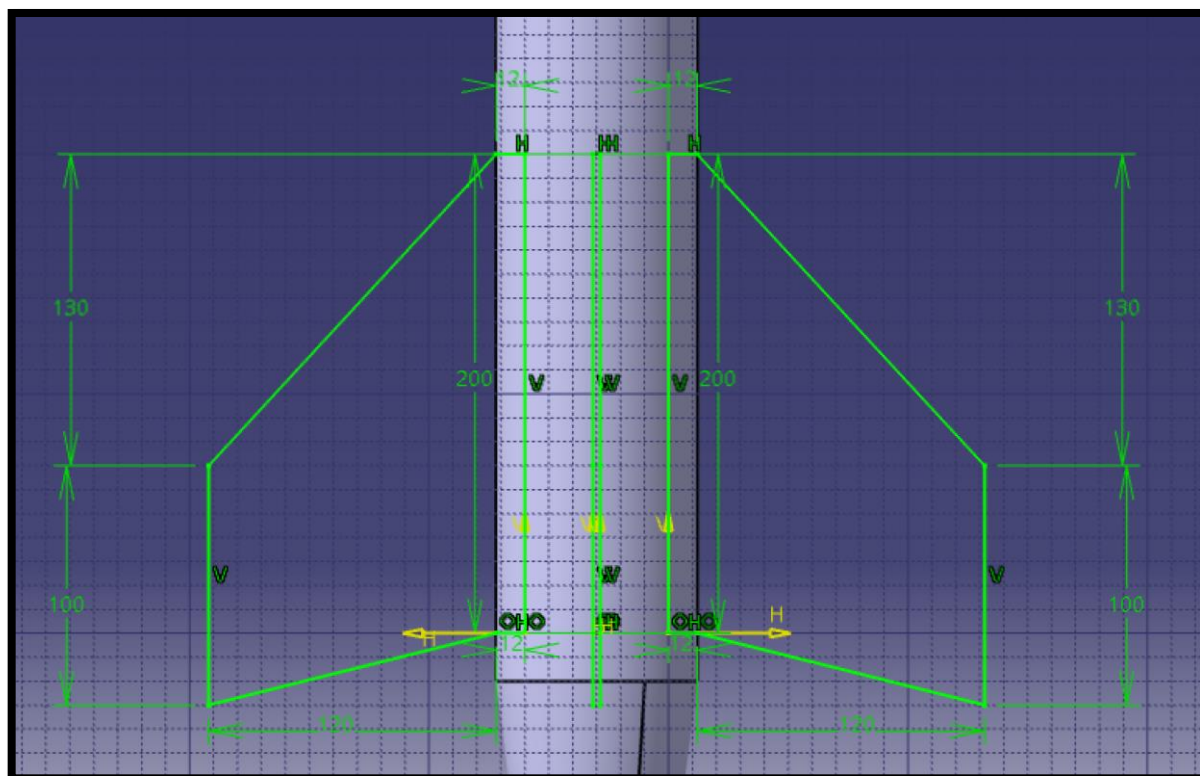
La Fusex SP-01 a principalement été réalisée en fibre de verre afin de l'alléger le plus possible tout en gardant une bonne solidité. Les seules pièces mécaniques n'étant pas en fibre de verre sont les supports des cartes électroniques et des caméras imprimés en PLA ainsi que la bague de maintien du parachute en Delrin. La récupération de la fusée se fait une trappe latérale dont l'ouverture est déclenchée par minuterie. L'aspect général de la fusée est le suivant :



La Fusex SP-01 mesure au total 165cm pour un poids de 4168g. Le centre de gravité est situé au milieu de la cage para. D'après les simulations (sur OpenRocket et le StabTraj de planète science), la vitesse maximale théorique est d'environ 285 km/h et l'apogée est prévu à 2265m.

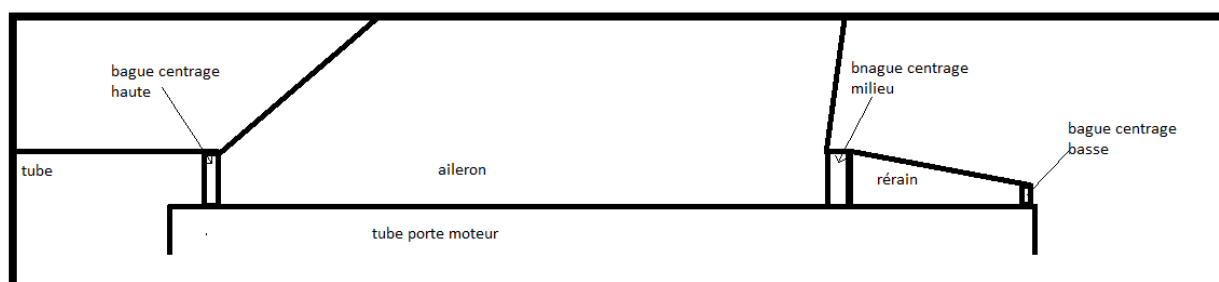
Bloc Propulsion

Le bloc propulsion de SP-01 est composé de 4 ailerons en fibre de verre collés à un tube porte-moteur situé à l'intérieur de la fusée. Un rétreint viens fermer le tout pour diminuer la trainée et une vise se loge dans le rétreint afin de tenir le moteur.

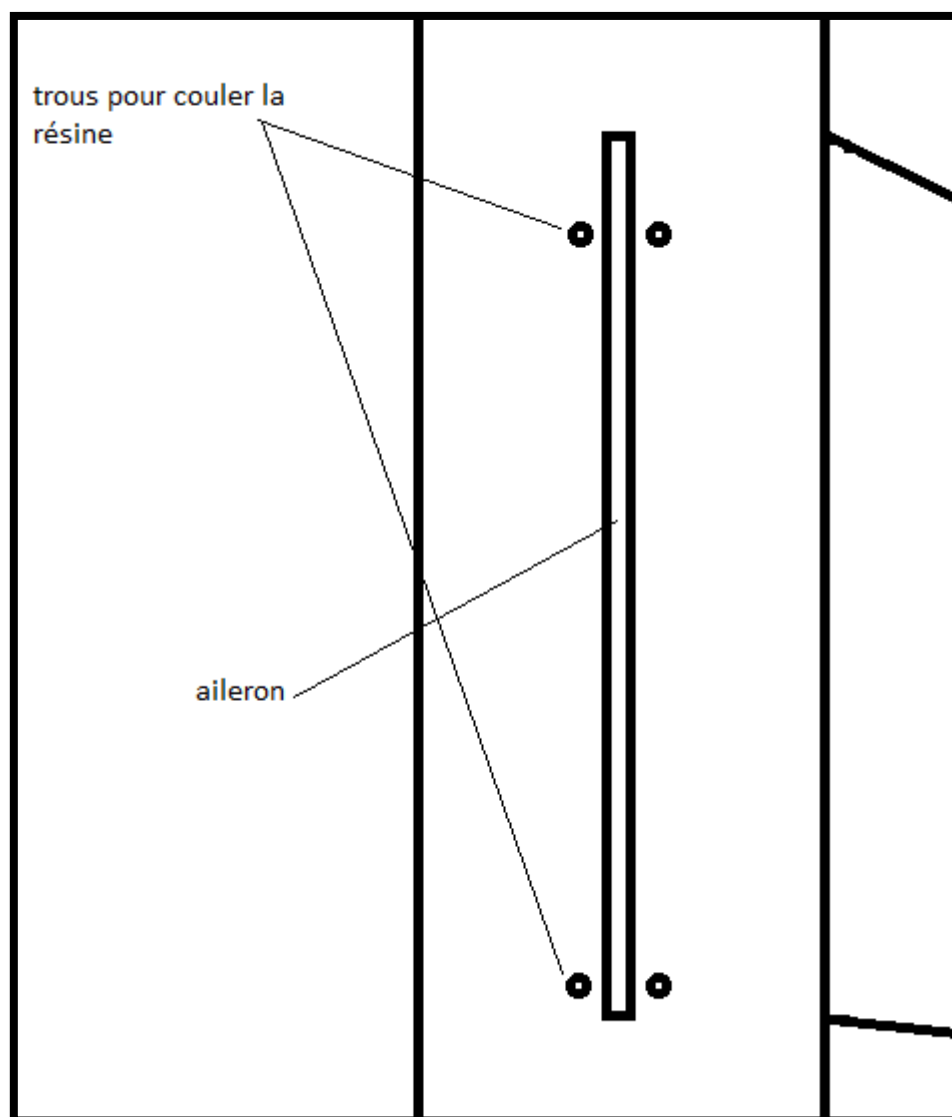


Le tube porte-moteur est moulé sur un casing de Pro-54 et possède donc le même diamètre. Il est néanmoins sensiblement plus court que ce dernier afin de gagner davantage de poids.

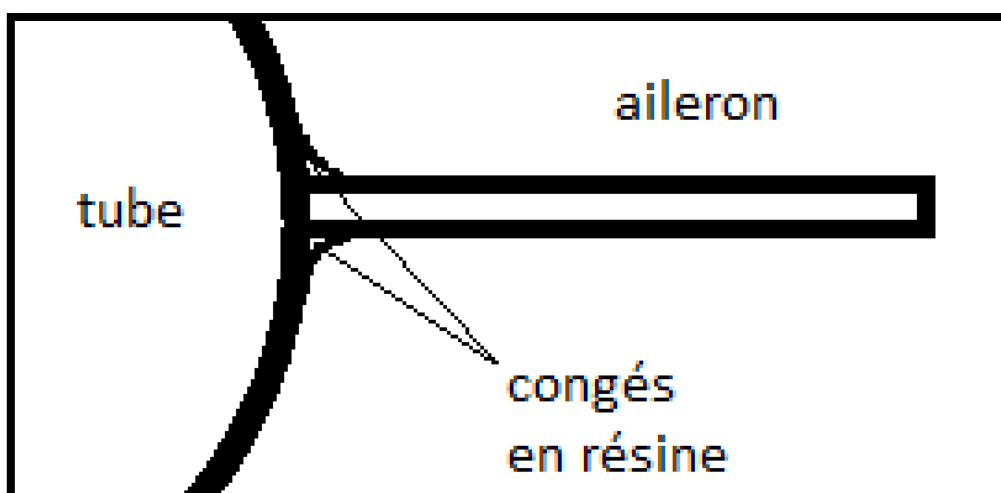
Les ailerons sont collés à la résine époxy au tube porte moteur ainsi qu'à 2 bagues de centrage selon le modèle suivant (idem pour le rétreint, collé à seulement une bague) :



Deux petits trous sont ensuite percés à l'avant et à l'arrière de chaque côté des ailerons afin de pouvoir insérer la résine à l'intérieur du montage.

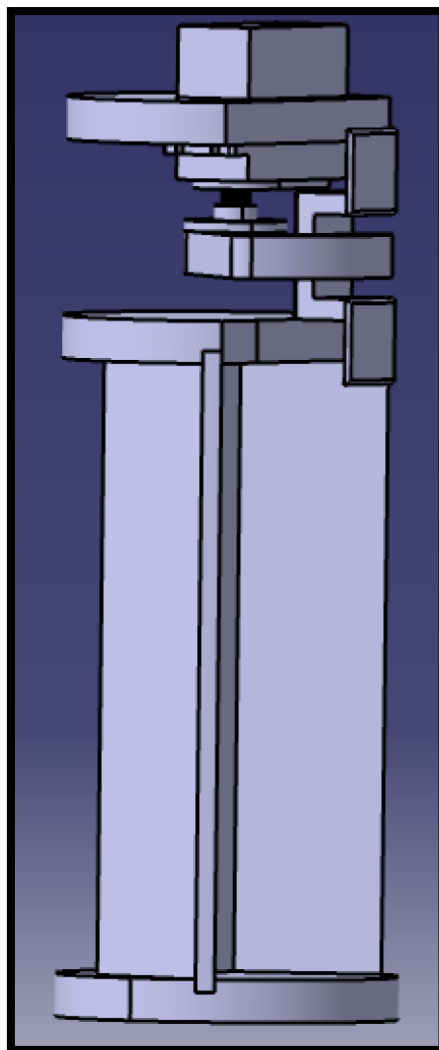


Enfin, afin d'améliorer l'aérodynamisme de la jonction et reboucher les trous percés pour la résine, on applique des congés en résine sur les bords des ailerons selon le schéma suivant :



Bloc parachute

La cage parachute à une hauteur de 15cm et une ouverture de 120°. Celle-ci est imprimée en PL1 pour simplifier la fabrication. Elle est située au-dessus du propulseur. Le parachute est attaché sur la bague du bas de la cage para. Cette bague est en Delrin pour augmenter la résistance sa résistance et s'assurer que celle ne casse pas lors de l'ouverture du parachute.



Le système d'ouverture de la cage est commandé par un servo-moteur. Une bague en aluminium est vissée à celui-ci et entraîne un crochet également en aluminium. Ce crochet vient se loger dans une encoche elle aussi en aluminium et vissée dans la trappe parachute. Le support du servo-moteur est imprimé en PLA.

Boite électronique

La boite électronique a été originellement pensée de sorte à ce qu'elle permette un accès facile aux batteries. Pour ce faire, nous avons décidé de placer les batteries au milieu de celle-ci pour pouvoir y accéder facilement (sans démonter l'intégralité des cartes électroniques), tout en

gardant les piles à proximité des cartes électroniques afin de ne pas utiliser de longs câbles inutilement. La boîte électronique devait également être facile à intégrer pour gagner du temps lors des manipulations de la fusée. Nous avons donc opté pour une boîte cylindrique possédant 4 emplacements de cartes électroniques sous forme de glissière et d'une empreinte des batteries au milieu pour pouvoir figer celles-ci.

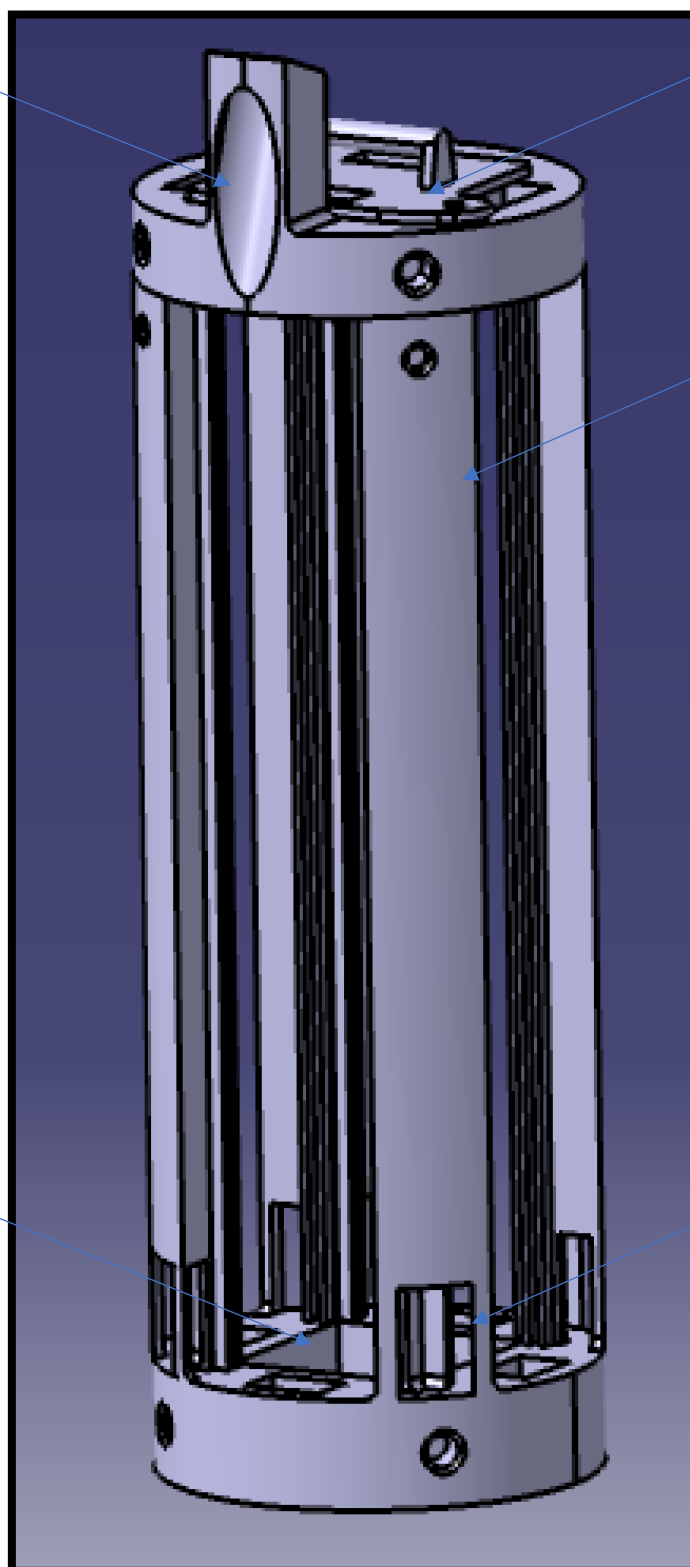
Support Jack

Couvercle boîte

Glissière, support pour
cartes

Empreinte batteries

Passage de câble d'une carte à
l'autre



L'entièreté du bloc électronique est imprimé en PLA.

Coiffe

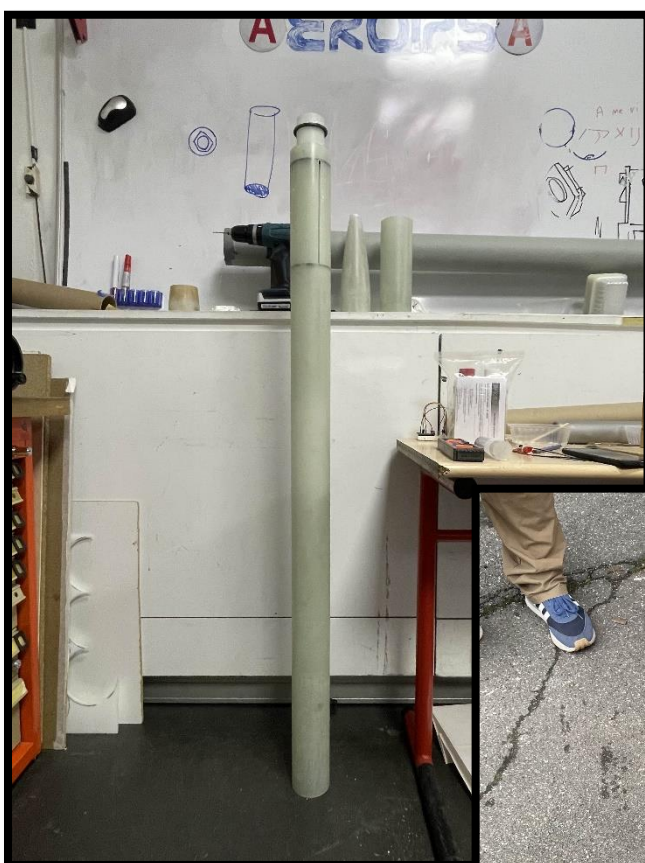
La coiffe de SP-01 est réalisée en fibre de verre et s'imbriquera à l'intérieur du tube. Pour cela, nous utiliserons un moule en PLA aux dimensions internes désirées de la coiffe dont le bout est arrondi et renforcé afin de pouvoir démouler la coiffe facilement.



On égalise ensuite les extrémités de la coiffe et on moule la pointe de la coiffe en résine époxy.

Fuselage

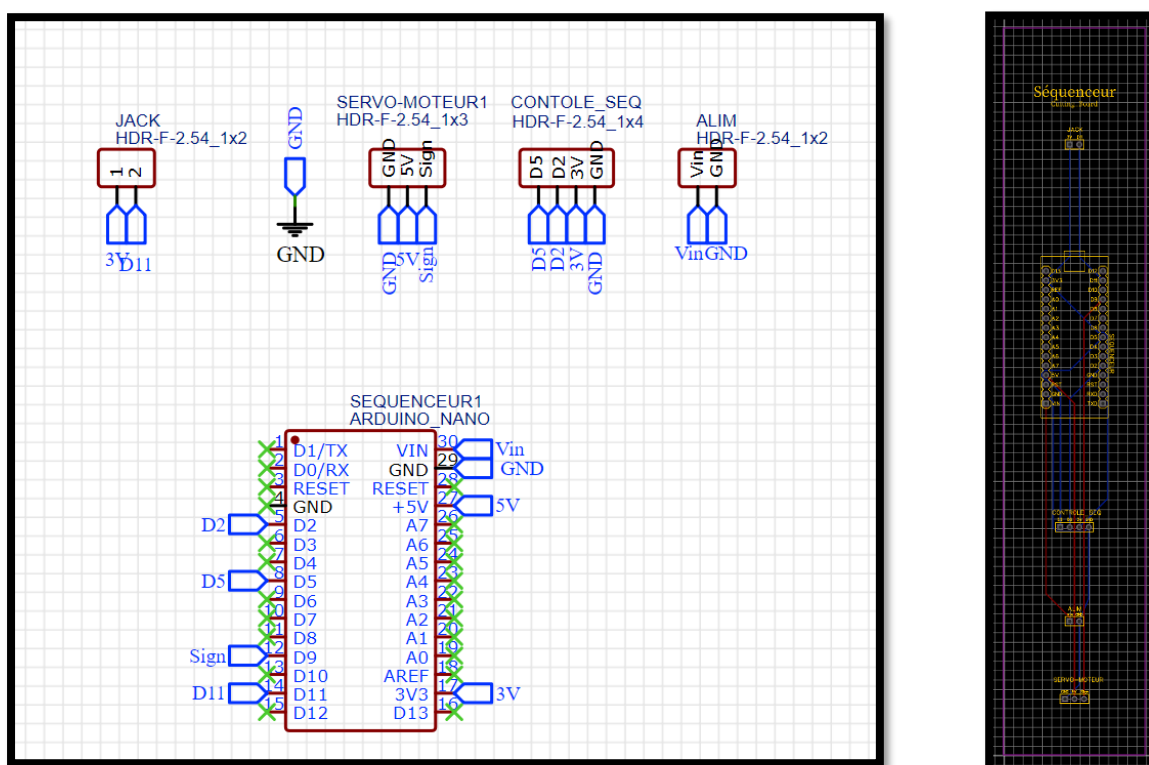
Le tube en fibre de verre a été réalisé autour d'un tube en aluminium sur lequel nous avons enroulé un film plastique pour faciliter la séparation. 8 couches de fibres de verre ont été enroulé à l'aide de résine époxy. Une fois cela fini, un autre film plastique a été mis sur le tube pour enlever l'excédent de résine et avoir un tube lisse. Nous avons néanmoins eu des problèmes pour le démoulage de ce tube. En effet, nous avons dû utiliser de la glace carbonique afin de refroidir suffisamment le tube en aluminium pour qu'il se resserre et que nous puissions le démouler.



Description électronique

Nous avons utilisé au total 5 cartes électroniques. Celles-ci ont été réalisées sur EasyEDA puis commandé sur JLCPCB. Ces cartes sont d'une très grande taille du fait des supports utilisés pour leur intégration. Comme expliqué précédemment, ces cartes sont disposées de telle sorte qu'elles doivent impérativement avoir la même taille. Ceci conduisant à avoir 2 cartes électroniques majoritairement vides.

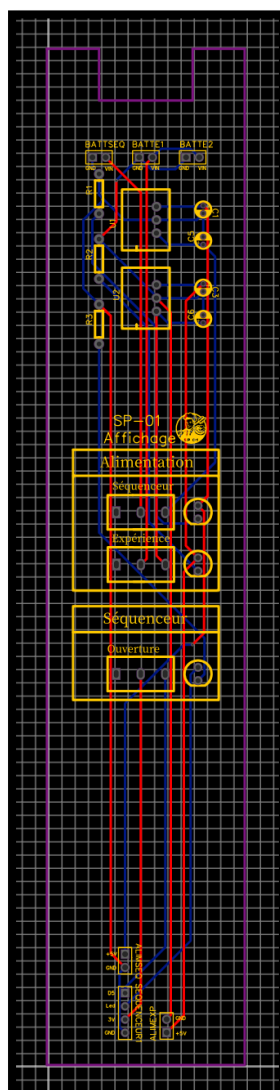
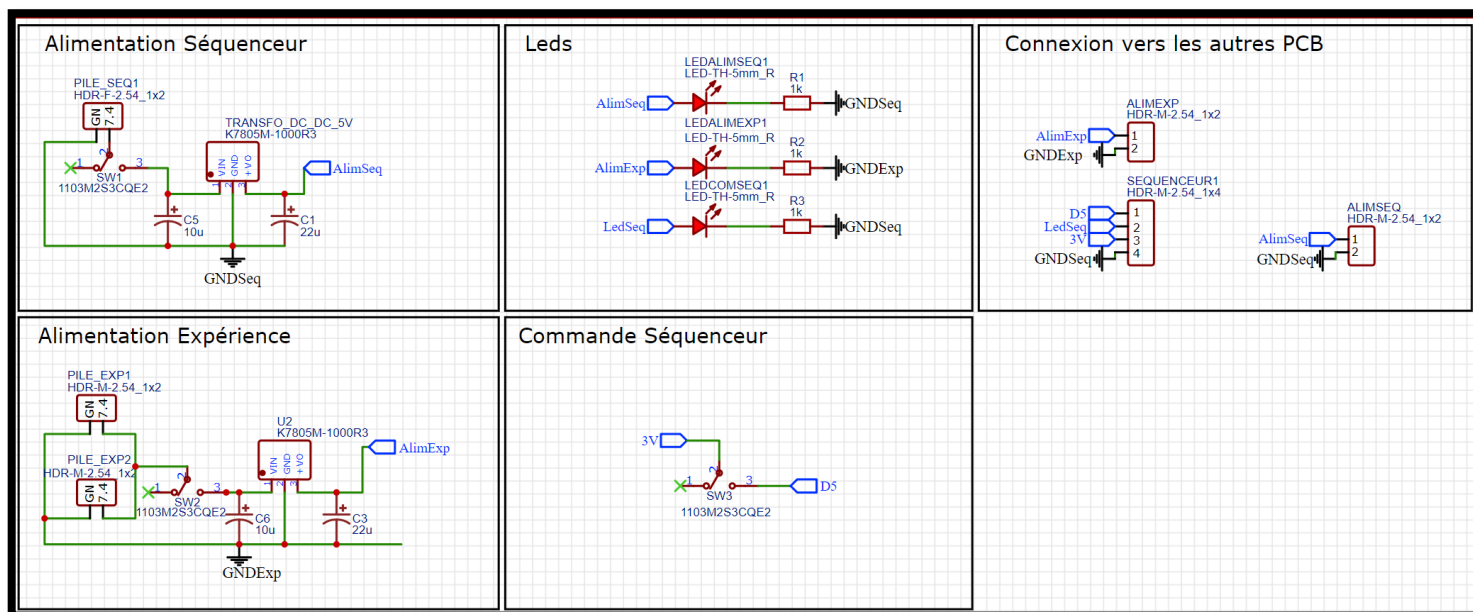
Carte séquenceur



Comme mentionné précédemment, le système de récupération de la fusée est déclenchée par minuterie. Cette minuterie est effectuée par carte Arduino Nano Every ci-dessus. La carte est en veille tant que la pin D11 détecte une tension. Lors du décollage, la liaison Jack est coupée et la pin D11 ne détecte plus de tensions. La carte Arduino va alors démarrer la minuterie (dans le cas du vol, calée à 18500 ms) et lorsque le temps sera écoulée, le servo-moteur effectuera une rotation afin de libérer la trappe d'éjection du parachute.

Les pins D2 et D5 quand à elles permettent d'effectuer divers actions sur le système d'éjection. La pin D2 permet de faire clignoter une LED sur la carte interface afin d'indiquer l'état du système à l'utilisateur (armé, désarmé) et la pin D5 permet de contrôler le séquenceur manuellement afin de faciliter l'assemblage et le désassemblage de la fusée.

Carte interface

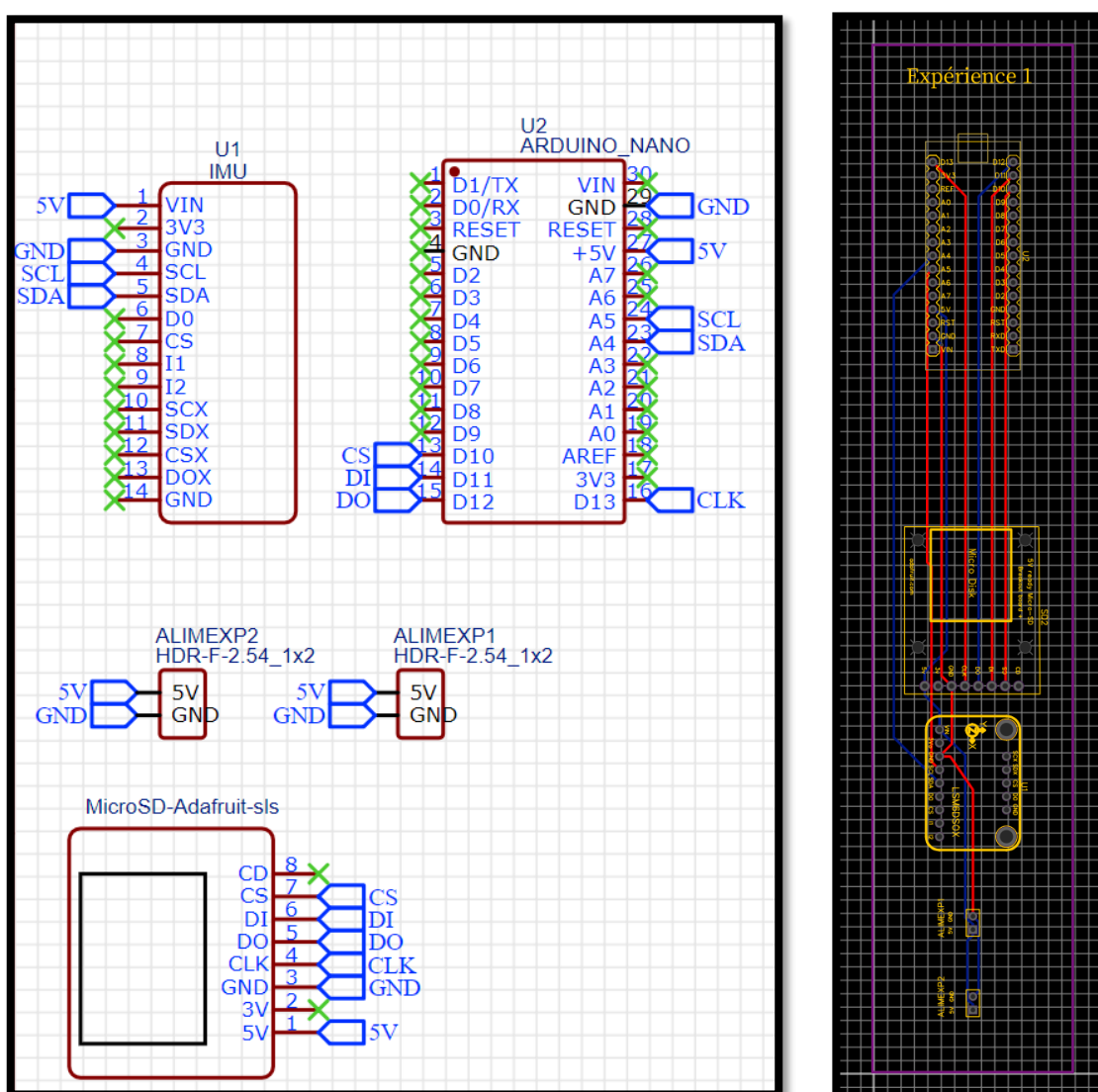


La carte interface assume plusieurs fonctions. Comme son nom l'indique, sa fonction primaire est de servir d'interface home-fusée. Celle-ci sert également à transformer la tension provenant des batteries de la fusée en 5V.

Il y a donc 2 convertisseurs de tensions K7805 avec leurs capacités de protection, un servant à convertir le 5V pour le système séquenceur uniquement et un deuxième pour les expériences de la fusée.

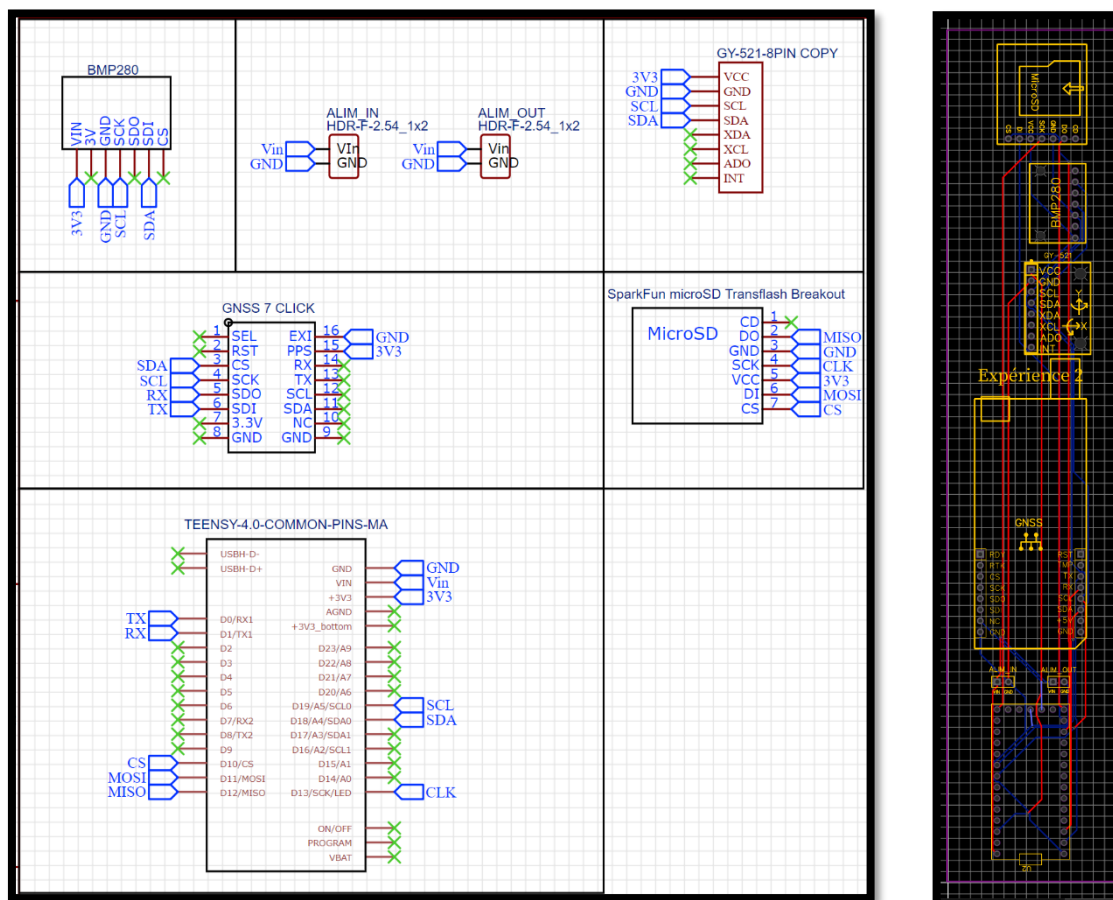
La partie interface est composée de 3 interrupteurs, l'un d'eux permet d'activer le séquenceur, un autre d'activer les expériences et un dernier pour contrôler manuellement l'ouverture et la fermeture du séquenceur.

Carte expérience 1



Cette carte électronique est composée d'une Arduino Nano Every, d'un IMU LSM6DS032 et d'un lecteur micro-sd pour l'enregistrement des données. Nous nous intéresserons aux détails de l'expérience dans la partie suivante.

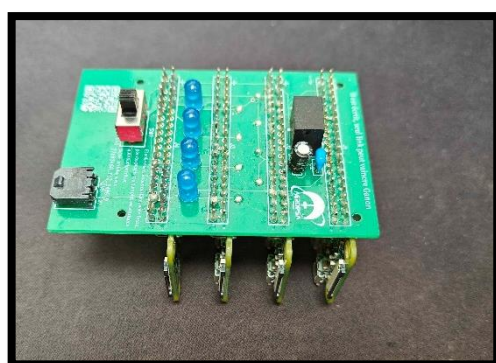
Carte expérience 2



Cette carte électronique est similaire à celle précédente dans son fonctionnement. Il s'agit d'un microcontrôleur, ici une Teensy 4.0, d'un IMU, ici un GY-521, un baromètre BMP-280 et un module GNSS, le GNSS Click 7.

Carte caméras

L'enregistrement vidéo a été réalisé à l'aide de 4 Raspberry pi Zero relié a des cameras Raspberry pi camera v3 Wide. Les cartes électroniques étaient reliées et alimentées par une PCB commune, qui permettait de de commander les Raspberry pi. Les modules camera sont relié par des napes au Raspberry pi et sont soutenues par une bague en PLA. Seulement deux Raspberry pi fonctionnaient lors du vol et une seul a pu filmer l'entièreté du vol.





Expériences

Originellement, plusieurs expériences avaient été prévues, comme la réalisation d'une mesure de vitesse en temps réel par effet Doppler depuis une station au sol, mais celles-ci ont été annulées à cause du manque de temps disponible à leur réalisation.

L'expérience principale conduite sur la fusée est alors la comparaison de deux centrales inertielles et la réalisation d'une trajectoire avec la centrale inertielle déterminée comme étant la plus « qualitative ».

Afin de tester ces capteurs dans les mêmes conditions réelles, nous les avons placés dans la fusée à la même hauteur afin d'égaliser les vibrations du vol reçues par ces capteurs. Nous pourrions donc mesurer qualitativement la sensibilité de ces capteurs aux vibrations.

Nous avons commencé par étalonner ces centrales inertielles en les plaçant très exactement à la verticale pendant 10 minutes sur chaque axe pour obtenir une moyenne de l'erreur de mesure de ces capteurs que nous avons ensuite retirée lors du traitement des données. Ces étapes ont été faites pour les 2 capteurs dans les très exactes mêmes conditions pour minimiser les erreurs liées à l'étalonnage.

Le GPS permettra d'obtenir des coordonnées à intervalle régulier et nous sera utile en post-traitement pour réaliser un filtrage de Kalman et donc améliorer la trajectoire finale.

Le capteur de pression quand à lui nous permettra de mesurer l'altitude de la fusée tout au long du vol. Cela ne fait pas partie d'une expérience mais est une mesure intéressante à étudier car malgré une imprécision théorique plus importante que les autres capteurs déjà présents sur la fusée, cela permet notamment d'obtenir une idée générale du déroulement du vol en cas d'impossibilité de lecture des IMU, perte de données des IMU, etc...

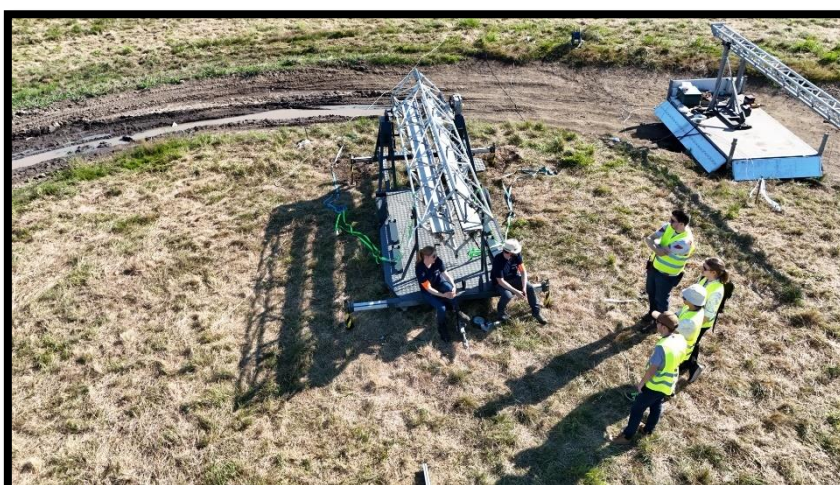
Le projet Unknown ne faisant officiellement pas parti des expériences de SP-01, celui-ci sera détaillé dans une partie dédiée.

Déroulement du vol

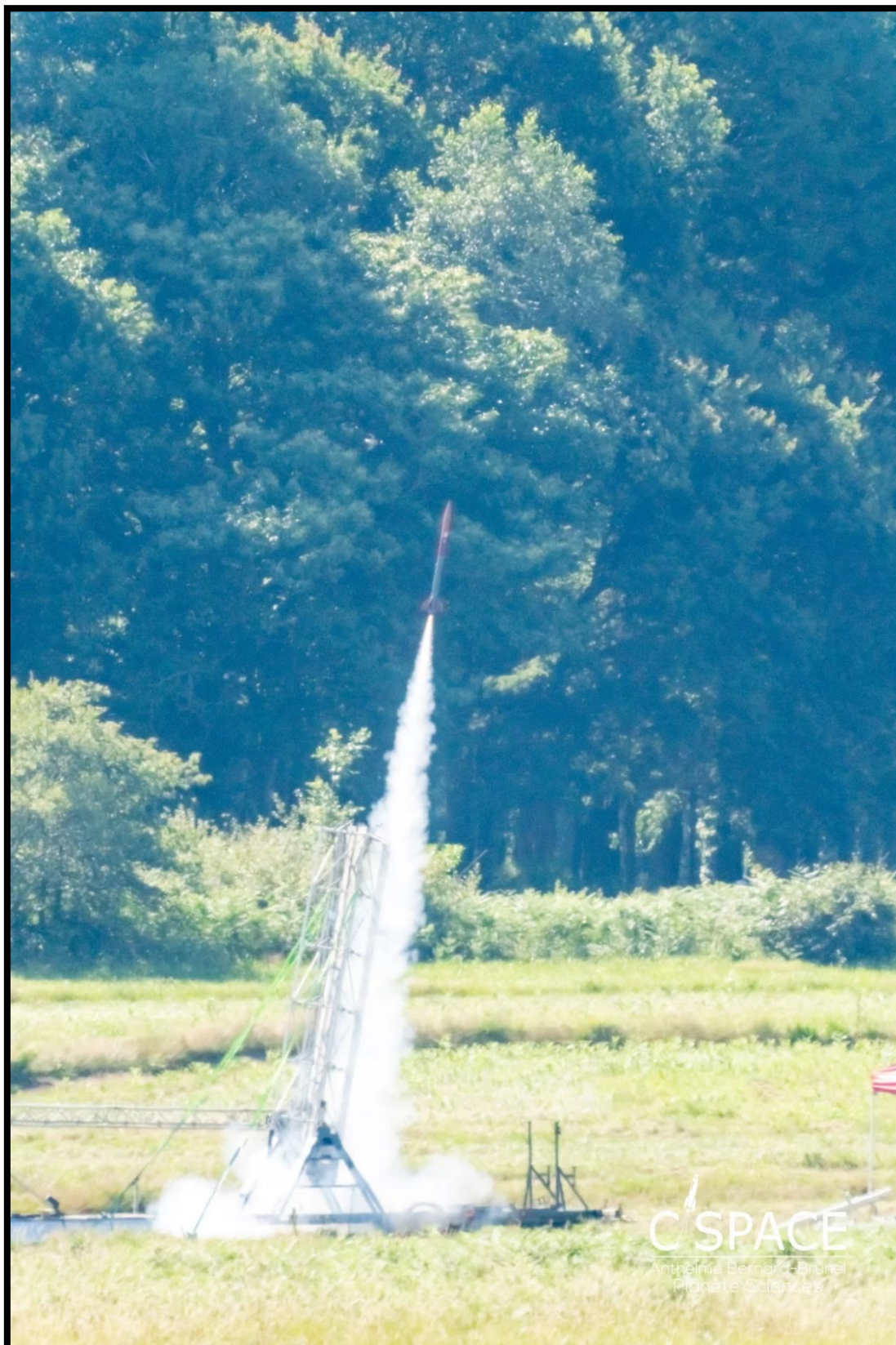
Le vol de SP-01 s'est déroulé le 11 Juillet 2024. Les équipes SP-01 et Unknown accompagnées de Timothée Grosbois sont arrivées en rampe de lancement à 10h.



La fusée a été mise en rampe à 10h29 par l'équipe SP-01.



La fusée SP-01, matricule FX-13 a décollé à 10h45 le jeudi 11 Juillet 2023. Il s'agit du premier lancement fusex de la journée et malheureusement aucune caméra à proximité n'a enregistré le départ le fusée. La seule photo disponible du décollage de la fusée est la suivante :

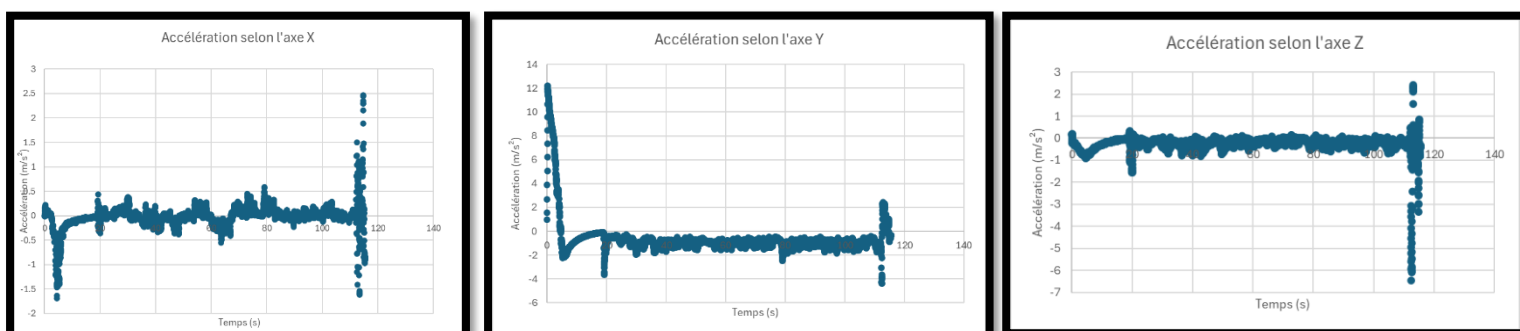


Le vol de SP-01 est nominal, le parachute s'est déployé et à quelque peu ralenti la fusée. Néanmoins, la fusée a été retrouvée scindée en deux dans une forêt derrière le pas de tir. Nous proposerons plusieurs explications sur les raisons de cet état dans la rétrospective du projet.

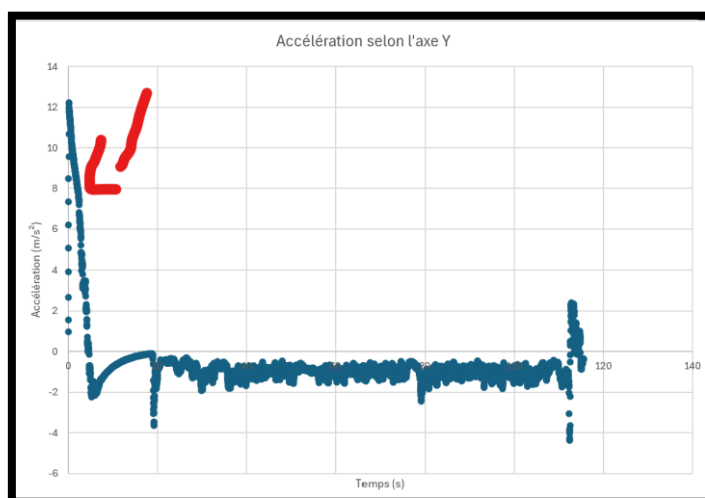


Résultats et analyse des données

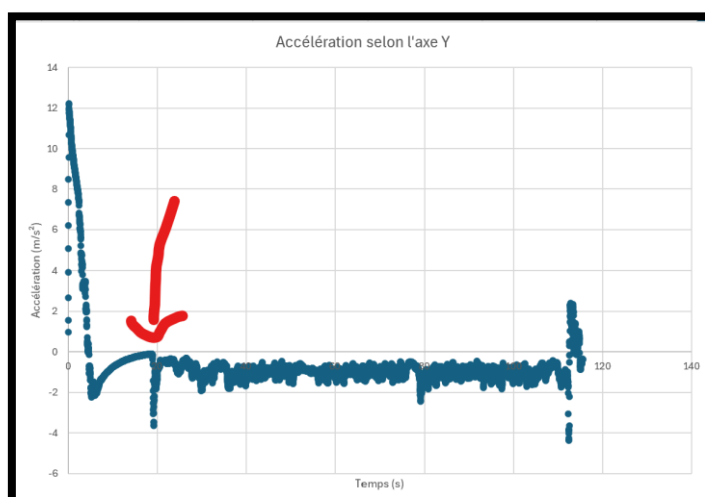
Commençons par interpréter séparément les données du MPU-6050 et du LSMDS032. Nous observons ci-dessous les 3 trois tracés des accélérations mesurées par le MPU-6050 :



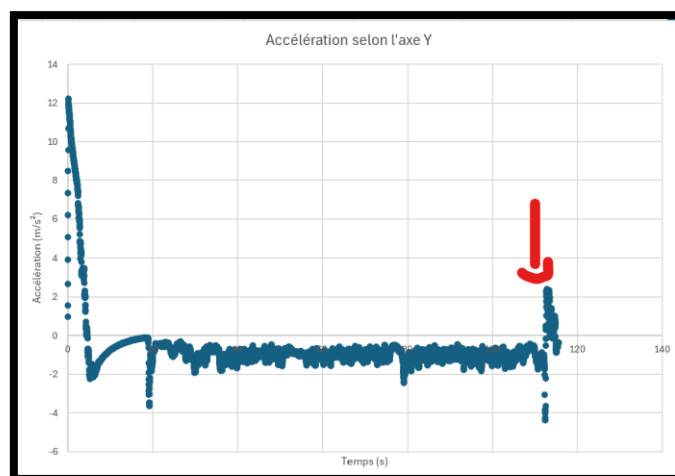
Nous pouvons clairement observer sur ces graphiques les différentes phases du vol. A savoir, la poussée :



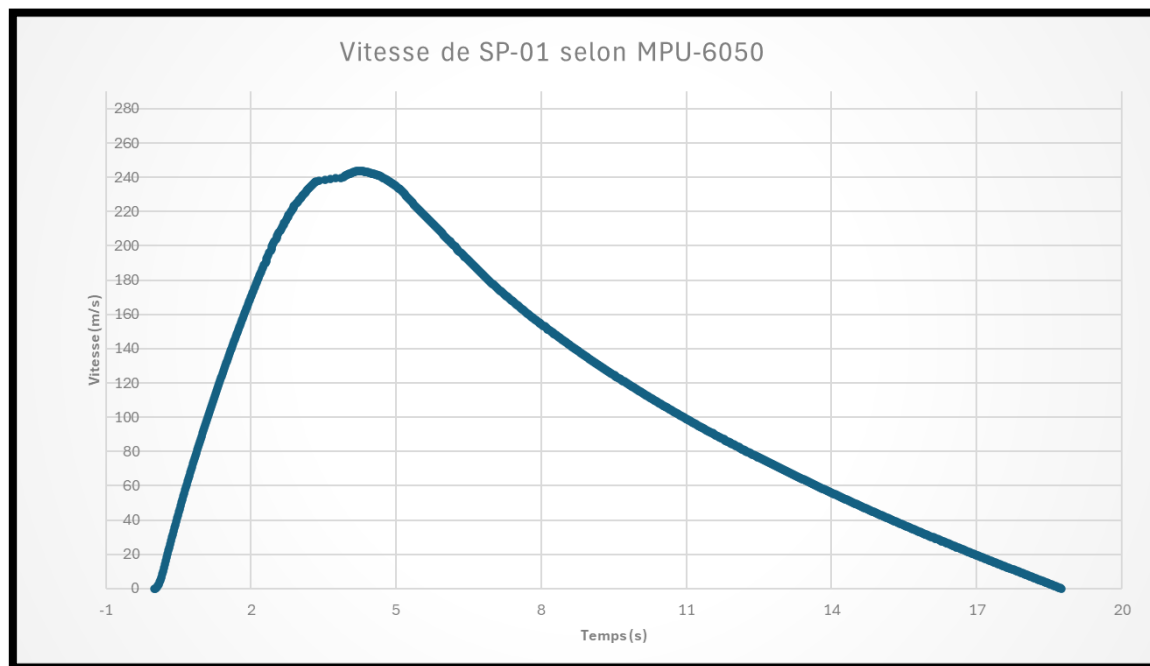
L'ouverture du parachute à approximativement 19.5 secondes :



Et l'impact avec le sol à 115 secondes :

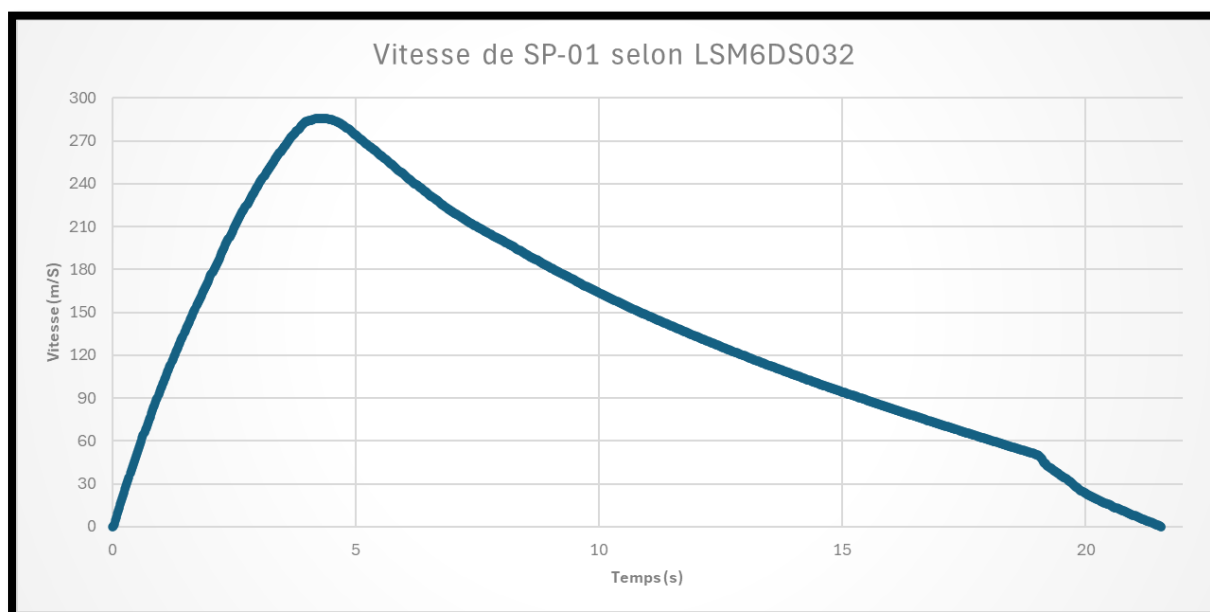


Ces phases de vol sont observables sur les tracés des autres axes également. Nous intégrons ensuite ces accélérations pour obtenir la vitesse absolue de la fusée sur sa phase d'ascension. Le reste du tracé n'est pas exploitable du fait des méthodes d'intégrations utilisées.

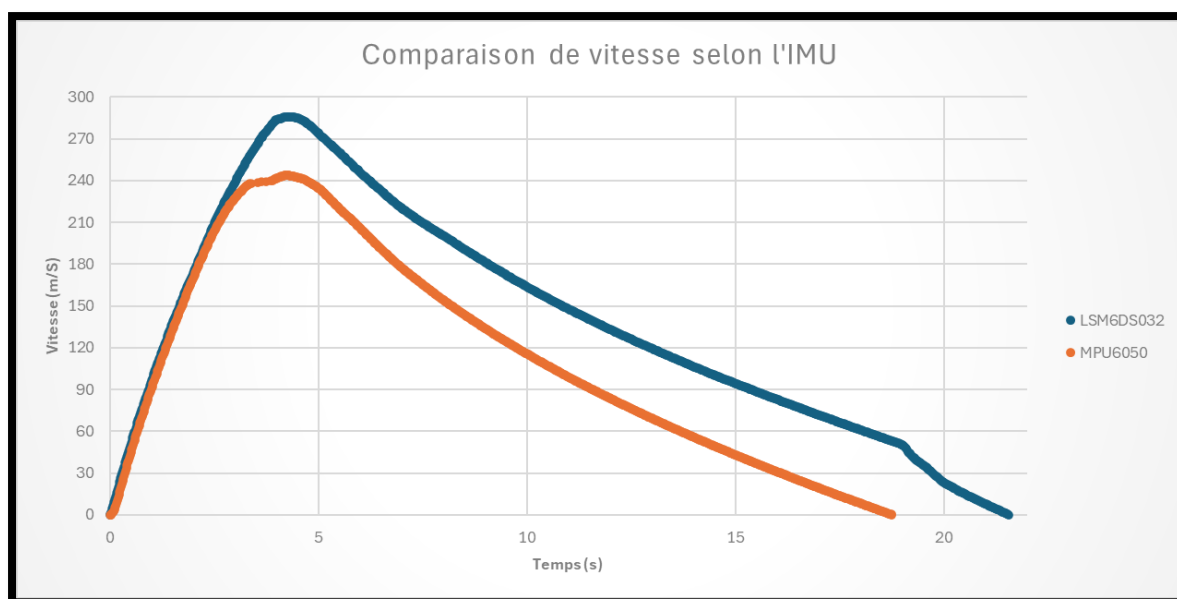


La vitesse maximale d'après le MPU est de 243 m/s et l'apogée est atteinte à 18.5 secondes ce qui n'est pas exactement la même que celle indiquée par le baromètre.

Intéressons nous maintenant à la vitesse de SP-01 indiquée par le LSM6DS032. On ne s'attardera pas une deuxième sur les valeurs bruts du capteur.



La vitesse maximale d'après le LSM6DS032 est de 285.59 m/s et l'apogée est atteinte à 21.5 secondes ce qui n'est encore différent du baromètre et de l'IMU.



En superposant les deux tracés, on aperçoit que les deux accéléromètres ont des données très similaires lors de la phase de poussée de la fusée. En revanche, on remarque une grande différence de vitesse maximale (243 contre 285.6 m/s , soit une différence de 15% entre les deux accéléromètres). La vitesse maximale du stabtraj est de 286 m/s , ce qui implique une erreur de 0.13% pour le LSM6DS032 et une erreur de 15.03% pour le MPU-6050 par rapport aux données théoriques.

Nous n'avons pu récupérer aucune données GPS en provenance de la carte expérience 2. Lors de la récupération de la fusée, le câble de l'antenne était cassé.

Rétrospective du vol

Malgré un vol nominal, la fusée a été retrouvée en deux morceaux et nous ne pouvons qu'éprouver de l'amertume par rapport à ce dénouement. Intéressons nous donc aux potentielles cause.

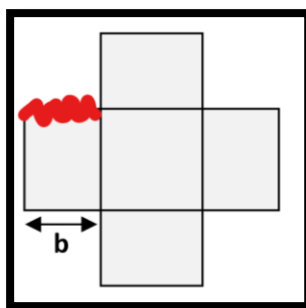
Tout d'abord, lors de la récupération nous avons pu observer plusieurs preuves d'impacts de la fusée avec les arbres de la forêt dans laquelle celle-ci est tombée (voir photos ci-dessous)



La fusée ayant été retrouvée en deux morceaux situés de part et d'autre d'un tronc d'arbre, nous émettons l'hypothèse que le parachute s'est pris dans une branche du même arbre et que cela a rabattu la fusée dessus. Celle-ci s'est alors scindée en deux au niveau du bas de la trappe para, un point fragile de la fusée et un aileron a été arraché lors de l'impact.

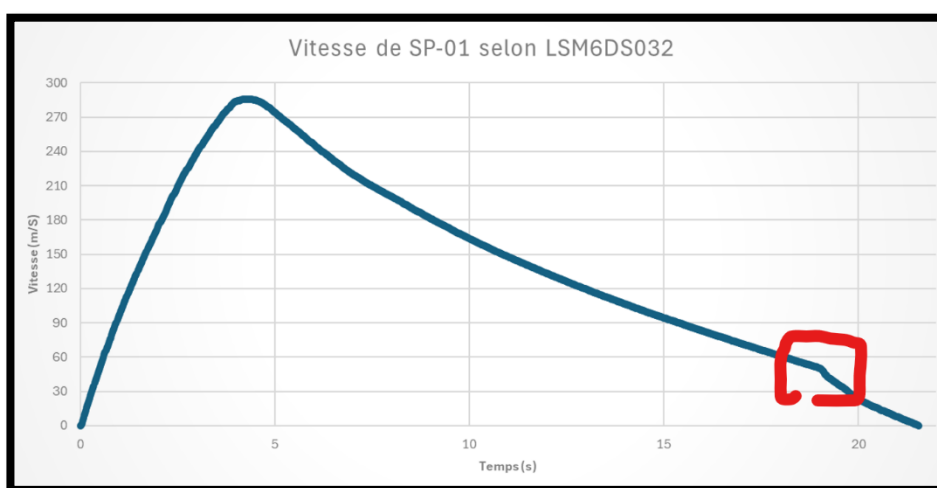
Cependant, l'étude à posteriori des trames GPS de la fusée grâce au projet Unknown a révélé que la fusée avait une vitesse de descente d'approximativement 30 m/s.

Après analyse du parachute, celui s'est vraisemblablement déchiré partiellement lors de l'ouverture, les fils de couture d'une branche ayant été arrachés comme sur le schéma ci-dessous :



Le parachute aurait donc perdu en efficacité, conduisant à une vitesse de descente relativement élevée et donc à la scission de la fusée.

En revanche, les raisons de cette déchirure peuvent être multiples. Si le tracé de l'évolution de la vitesse par le LSM6DS032 est correct, alors la fusée a atteint son apogée à 21 secondes. La minuterie de l'éjection du parachute ayant été réglée à 19.5 secondes, conformément avec le stabtraj, il est possible que la trappe se soit ouverte avant l'apogée alors que la fusée avait encore une vitesse importante, déchirant le parachute. Qui plus est, nous observons une accélération du ralentissement de la fusée à partir de 19.5 secondes, comme indiqué sur le schéma suivant :



Il est donc raisonnable d'imaginer que la trappe se soit ouverte alors que la fusée avait une vitesse de 55 m/s. Il faudrait néanmoins effectuer de plus amples tests pour déterminer si cela a été suffisant pour déchirer le parachute ou non.

Malgré l'état de la fusée à la récupération, la structure de la fusée est globalement intacte et aucune autres anomalies ne sont à noter. La fusée a résisté au vol transsonique.

Projet Unknown

Abréviations

VF : Vincent FAUQUEMBERGUE
MCG : Mathieu COQUELLE-GRANDSIMON
AP : Alexis PAILLARD

Préface

Suite au projet HANAMI lancé au C'Space 2023, VF a eu l'idée de réaliser un module de « tracker » afin de retrouver les fusées en cas de vol balistique ou de vol mystère. L'objectif secondaire est d'enregistrer des données de vol qui permettrait de comprendre pourquoi le vol a échoué. Le projet est initié en Août 2023 pour être placé dans une fusée expérimentale de l'association AEROIPSA. La fusée acceptant d'inclure le module Unknown à son bord est SP-01 dirigé par MCG.

En septembre 2023, le projet est présenté à l'occasion du forum des associations comme un projet unique. Environ 5 personnes rejoignent le projet mais seuls AP et VF s'investissent dans celui-ci, la quantité de travail n'étant pas colossal et les autres membres ayant d'autres projets à réaliser. VF étant en Allemagne au premier semestre, le projet démarre réellement à partir de Décembre 2023 – Janvier 2024.

Remerciements

Je tiens à remercier le Bureau d'AEROIPSA pour m'avoir fait confiance pour mener à bien ce projet ainsi que Mathieu pour avoir accepté d'intégrer le module dans sa fusée SP-01.

Je remercie également Julien DENAT qui nous a beaucoup conseillé sur le choix des composants ainsi que sur certaines notions techniques.

Un grand merci à Planète Sciences et plus particulièrement Florent pour son aide en télémétrie. Merci aussi à Paul pour ses conseils d'amélioration.

Enfin, un immense merci à mon camarade Alexis PAILLARD sans qui le projet n'aurait jamais vu le jour.

Organisation du Projet

Pour ce projet de module, nous avons réparti les tâches de cette façon :

Vincent FAUQUEMBERGUE : Conception HARDWARE
Alexis PAILLARD : Réalisation SOFTWARE

Expériences du Projet

Les expériences du projet Unknown sont les suivantes :

Expérience principale : Relocaliser une fusée après son lancement grâce à un module de télémesure LoRa renvoyant les données GNSS tout au long du vol.

Expérience secondaire : Réalisation d'une collecte de données provenant de nombreux capteurs, barométrique et centrale inertielle, afin de reconstituer le vol après récupération des données stockées sur une mémoire flash.

Expérience tertiaire : Réaliser une intégration suffisamment petite pour pouvoir être intégrée dans n'importe quelle fusée expérimentale (FusEx).

Composants électroniques intégrés

Microcontrôleur : **STM32F411CEU6** de STMicroelectronics. Consommation max de 1.6 mA à 16MHz.

Télémesure : Module **LoRa RFM96W** permettant de communiquer en 433MHz (433.365 MHz alloué durant le C'Space 2024) à une puissance de 10 mW. Consommation max de 100 mA

Centrale inertielle : **BMI088** de Bosch, 6 axes (3 axes d'accélération et 3 axes gyroscope) fréquence d'acquisition choisis de 80 Hz. Consommation max de 5.15 mA

Accéléromètre (Haute accélération) : **ADXL375BCCZ-RL7** de Analog Devices. La particularité de cet accéléromètre est de pouvoir une valeur de l'accélération jusqu'à 200g. Consommation max de 0.1 mA

Baromètre : **BMP388** de Bosch avec une précision de 0.5 hPa, très bon rapport qualité/prix pour une mesure d'altitude barométrique. Consommation max de 5mA

Mémoire Flash : **W25Q128JVPIQTR** de Winbond capacité de 128 Mbit soit 16Mo. Consommation max de 25 mA.

GNSS : **SAM-M10Q-00B** de ublox avec un cold start de 29s. Consommation max 100mA.

Buzzer : **MLT-5020** de JIANGSU HUAWHA ELECTRONICS CO, 75 dB. Consommation max 100mA.

Régulateur de tension : **TPS62172DSGR** de Texas Instruments. Consommation négligeable (10 μ A)

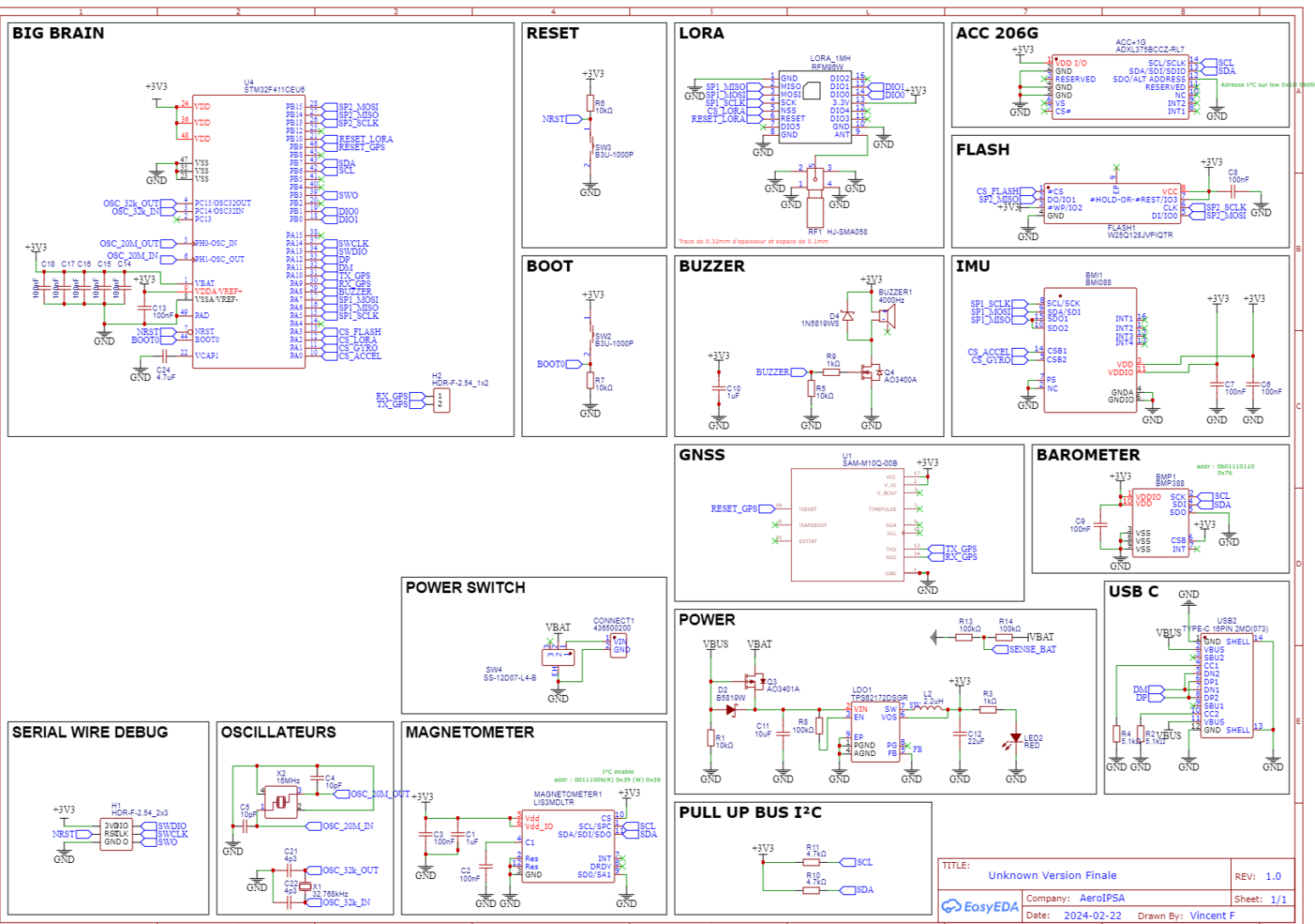
Au total, la consommation, avec l'hypothèse que tous les composants soient à leur consommation maximale, est de 336.85 mA. Cela revient à une puissance de $P_{tot} = 3.3V \times 336.85mA = 1111.6 mW$

Nous voulons opérer le module pour une durée de 3h minimum conformément au cahier des charges FusEx. De plus, nous utiliserons une batterie 1S LiPo d'une tension de 3.7V. Cherchons maintenant la puissance nécessaire pour pouvoir subvenir au module :

$$Q = \frac{3h \times 1.1116 W}{3.7V} = 904 mAh$$

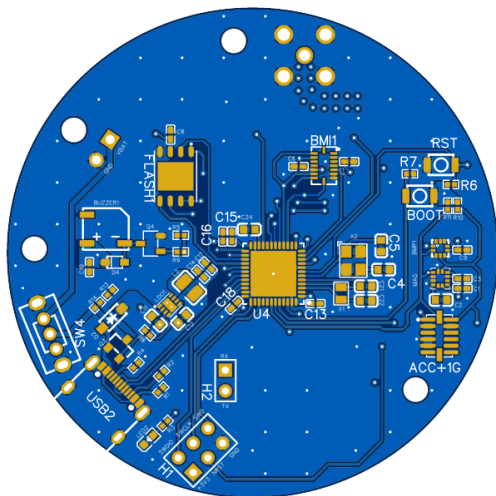
Ainsi, sachant que l'hypothèse que tous les composants soient à leur consommation maximale durant toute la phase de vol est impossible, nous avons choisi d'utiliser une batterie **LiPo 1S 3.7V 900 mAh**.

Schéma électronique

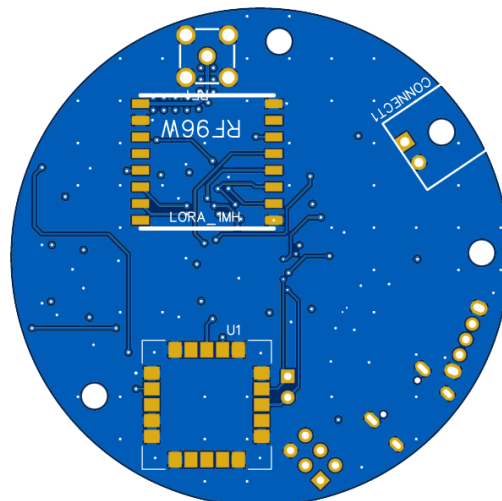


TITLE:	Unknown Version Finale	REV: 1.0
Company:	AeroIPSA	Sheet: 1/1
Date:	2024-02-22	Drawn By: Vincent F

Circuit imprimé

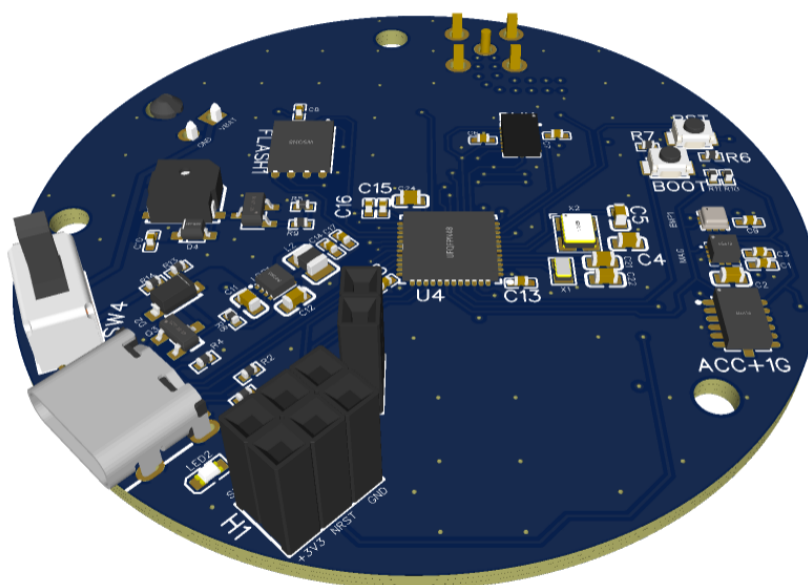


Face avant du module Unknown



Face arrière du module Unknown

Vue 3D du circuit imprimé



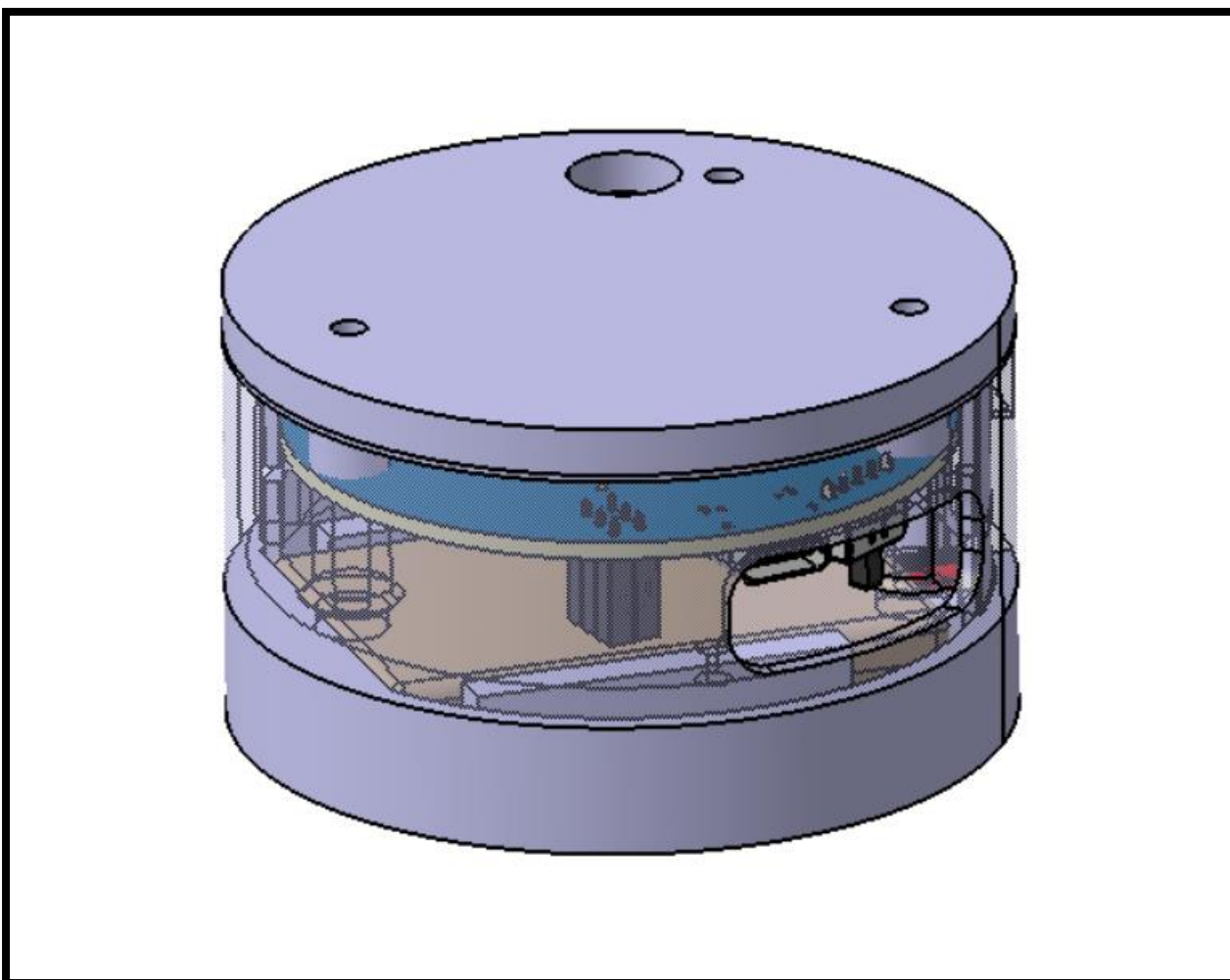
Face avant 3D du module Unknown

Intégration mécanique du module Unknown

Le module est intégré dans la coiffe. Celle-ci est réalisée en fibre de verre permettant de laisser passer les ondes RF indispensable pour la réception GNSS et LoRa. La fixation de la carte est de la batterie se fait grâce à 3 pièces en PLA.

$$D_e = 70 \text{ mm}$$

$$H = 41 \text{ mm}$$



La bague supérieure permet de fixer le module à une autre bague fixée dans la coiffe. La bague centrale permet d'accéder à l'interrupteur d'allumage du module ainsi qu'au branchement de la batterie. Enfin, la bague inférieure permettant de fixer la batterie LiPo pour que ne puisse bouger et ainsi éviter tous risques de dégâts.

Paramètres du Software

Télémétrie :

- Puissance d'émission : 10 mW (cahier des charges)
- Spreading factor : 7

Paramètre généraux

- Fréquence d'acquisition de données : 80Hz
- Temps possible prise de données : 1h15

Après demande auprès de Planètes Sciences, il nous a été accordé d'envoyer un « Go » au module pour démarrer la prise de données.

Déroulement d'un vol simulé du module

- Allumage du module

- Réception sur la station au sol d'un « Wait for GPS »
- Lorsque le module à réussi à se synchroniser avec une constellation, celui-ci envoie un « Go ? » à la station au sol
- La station au sol envoie alors le « Go ! » de confirmation. La prise de données commence pour une durée de 1h15 = 75 minutes.

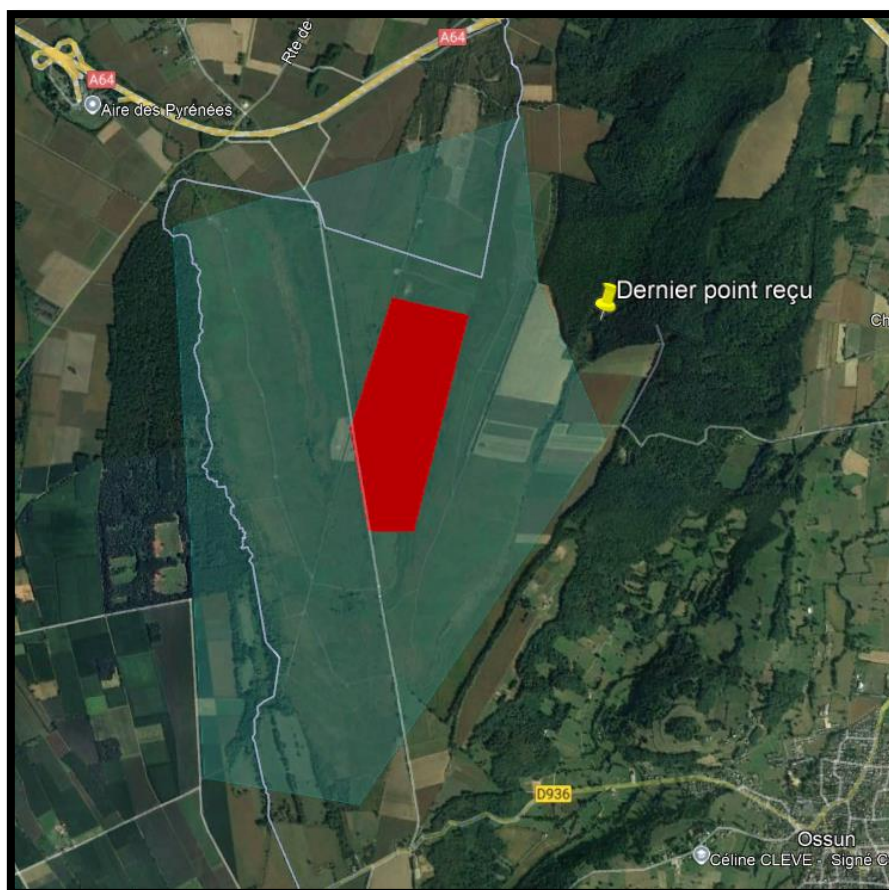
Résultats du vol

Le vol du module Unknown a eu lieu sur la fusée Sp-01 le jeudi 11 juillet 2024 à 10h55. Sur la chronologie, une procédure de secours était écrite en cas de soucis d'initialisation du module dû à la distance ainsi que les obstacles présent entre la station au sol et le module. De plus, nos antennes avaient de faibles gains (2 – 3 dBi). Malheureusement, nous avons dû déclencher cette procédure de secours, AP ne recevant pas de « Wait for GPS ». Après correction de ce souci, nous avons bien reçu les données GNSS durant toute la phase de vol.

Malgré son vol nominal, la fusée SP01 étant très petite et rapide n'a pas été bien aperçue par les équipes aux jumelles. Cependant, une jumelle a réussi à la repérer durant sa phase de descente. Nous avons ensuite donné notre dernière position GNSS connue à 228 m d'altitude à la localisation qui se concordait avec les données fournies par la jumelle. La fusée à était récupérer à une trentaine de mètres du dernier point GNSS permettant de conclure avec succès la mission principale du module Unknown.

Dernière ligne envoyée par le module Unknown à la station au sol. Pour rappel, le Camp de Ger est à une altitude d'environ 450 mètres.

10:56:25:794 -> GPS -> long: -0.041453, lat: +43.21362, alt: +678.0



Traitement des données post vol

Après avoir récupéré le module le vendredi 12 juillet 2024 à 15h30, nous avons procédé à l'analyse des données. Nous avons vite aperçu un problème. Dans un premier temps, l'ensemble de nos données étaient fixes, on ne voyait donc aucune accélération, ni déplacement GNSS. Un second problème constitue le nombre de lignes qui aurait dû être de 380 000, or nous en avons obtenu 95 000 soit exactement 4 fois moins. Ce chiffre de 4 nous a tout de suite mis la puce à l'oreille.

En effet, nous avons remarqué que la DATA_SIZE que nous avons définie était de 44 au lieu de 11. Ainsi, au lieu d'écrire 44 octets de données, nous en écrivions 176, ce qui explique la perte de $\frac{3}{4}$ des données (44 valeurs et 132 « Zéros »).

```

41
42 void save_data_to_flash(FLASH_STREAM *stream, DATAS datas) {
43     float datas_buff[DATA_SIZE] = {datas.accel[0],
44                                     datas.accel[1],
45                                     datas.accel[2],
46                                     datas.gyro[0],
47                                     datas.gyro[1],
48                                     datas.gyro[2],
49                                     datas.pressure,
50                                     datas.temp,
51                                     datas.longitude,
52                                     datas.latitude,
53                                     datas.time};
54
55     flash_stream_write_floats(stream, datas_buff, DATA_SIZE);
56
57 > // flash_stream_write_float(stream, datas.accel[0]);...
58 }

```

Ainsi, au lieu d'avoir 75 minutes de prise de données, nous n'en avons que 19. Nous pouvons vérifier que la fusée n'a pas bougé sur cette plage en regardant la différence de temps entre le moment du « Go ! » et le moment du décollage. En regardant les données de télémesures, on remarque que le « Go ! » a été envoyé à 10h22min19s tandis que le décollage a eu lieu à 10h54min44s ce qui correspond à une durée de 32 minutes environ dépassant largement la durée de 19 minutes. Nous n'avons donc malheureusement aucune donnée à recueillir.

10:22:59:596 -> [Arduino] go !

10:54:44:073 -> G56%)8#long: (0~86761, lQr° :2@3ð|>4²y7nD9j -> Décollage

Perspectives d'améliorations

Afin d'améliorer ce module, nous comptons corriger les soucis concernant l'écriture de donnée ainsi qu'améliorer la capacité de stockage en passant d'une flash de 16 Mo à 32 voir 64 Mo afin de garantir une plus longue plage de prise de données.

Nous comptons également changer la fréquence de LoRa en passant sur la plage 869.4 – 869.65 MHz afin de pouvoir monter jusque 500 mW de puissance. Nous comptons également réaliser une vraie station au sol avec des antennes ayant un meilleur gain ainsi que placer quelqu'un avec une antenne Yagi (11 – 13 dBi) en zone public.

Ce projet nous a néanmoins appris beaucoup notamment sur l'électronique et la télémesure. Ce fut une expérience enrichissante dont nous espérons tirer profit pour le C'Space 2025.