

Unknown

Abbreviations

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 choisie 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 µA)

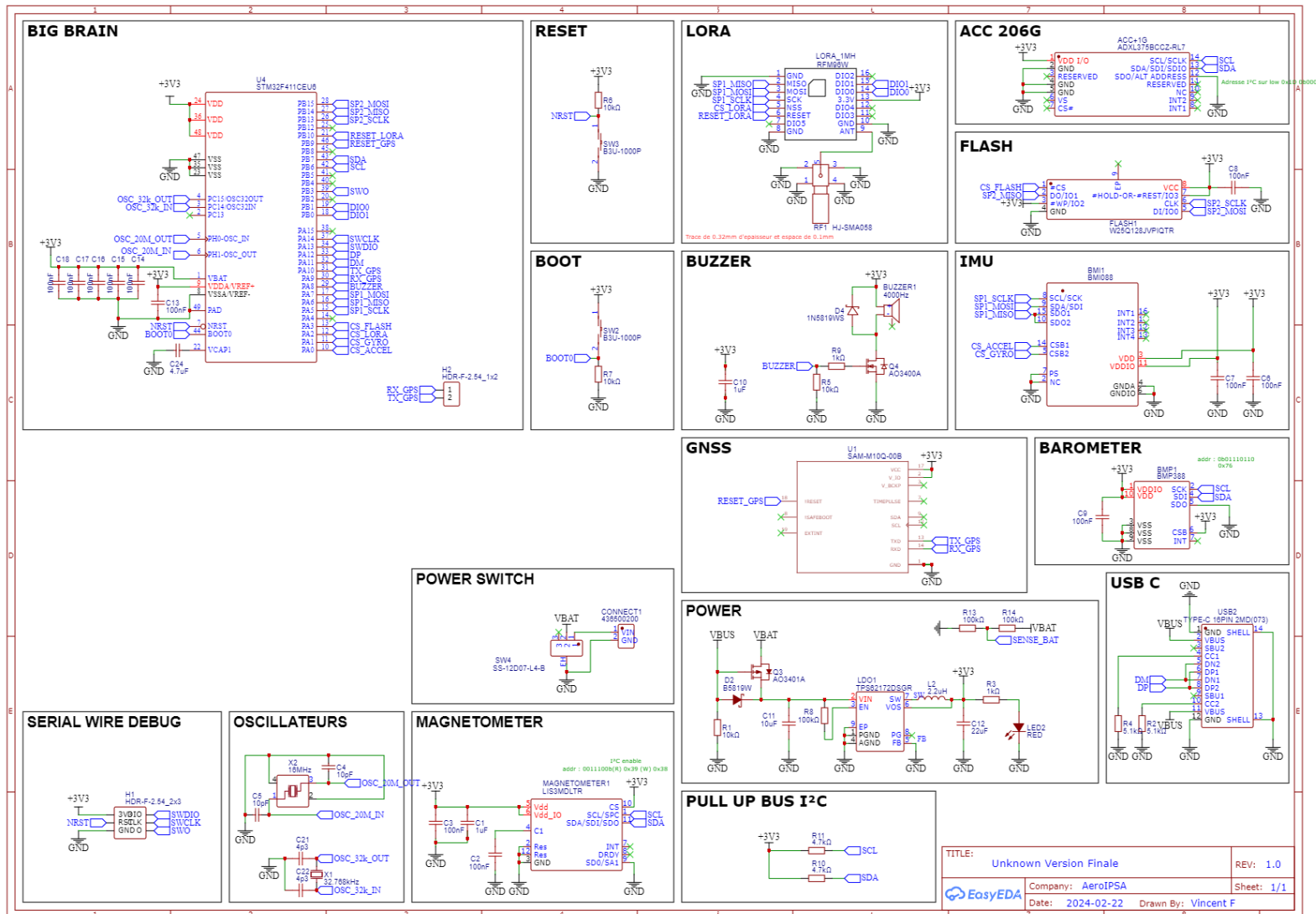
Au total, la consommation, avec l'hypothèse que tous les composants soient à leur consommation maximale, est de 336.85 mA. Cela revient à une puissance de $P_{tot} = 3.3V \times 336.85mA = 1111.6 mW$

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 :

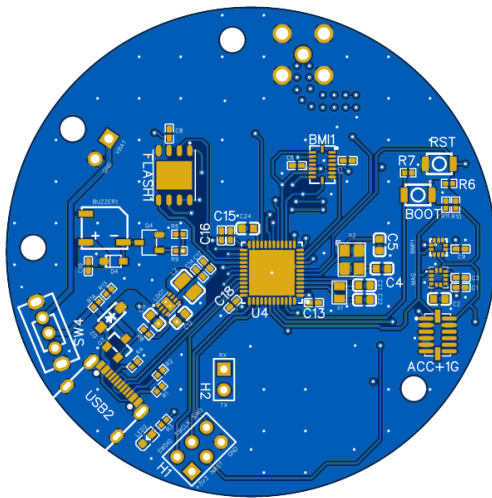
$$Q = \frac{3h \times 1.1116 W}{3.7V} = 904 \text{ mAh}$$

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**.

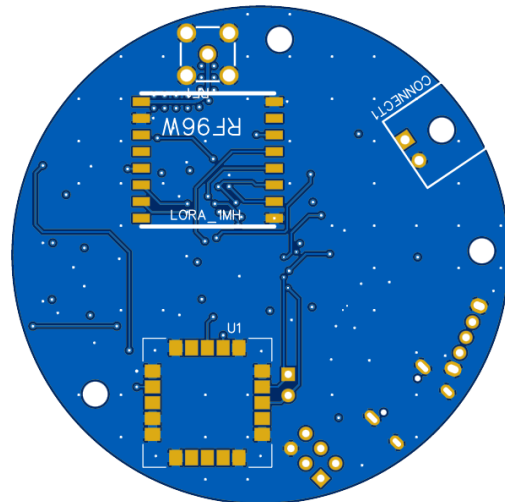
Schéma électronique



Circuit imprimé

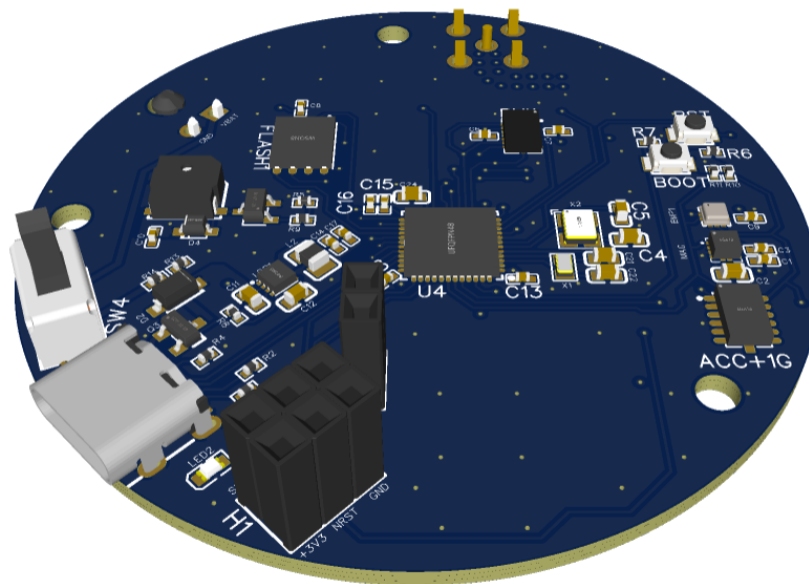


Face avant du module Unknown



Face arrière du module Unknown

Vue 3D du circuit imprimé



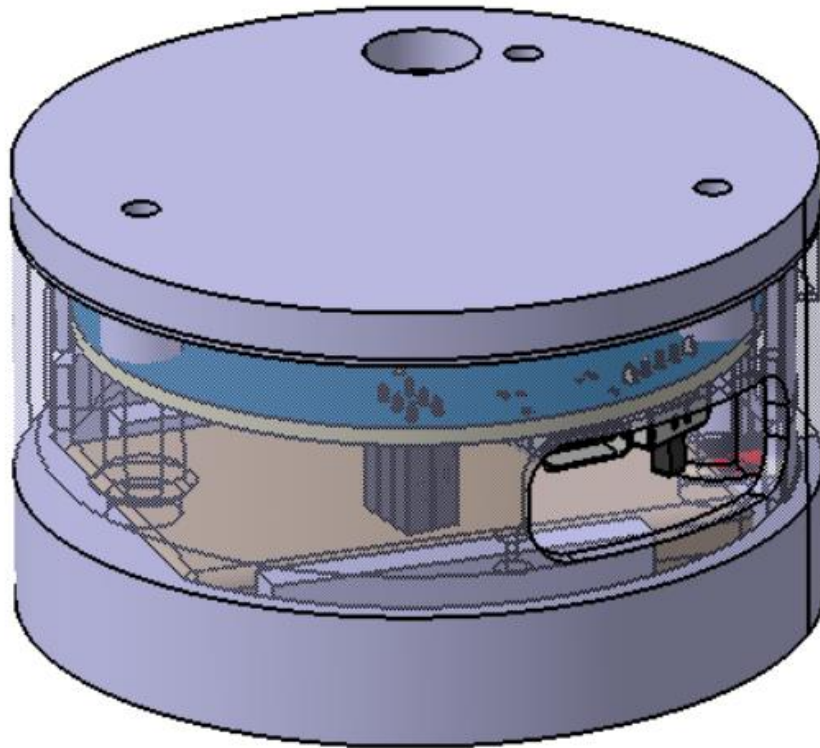
Face avant 3D du module Unknown

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

Télémesure :

- 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 a 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.

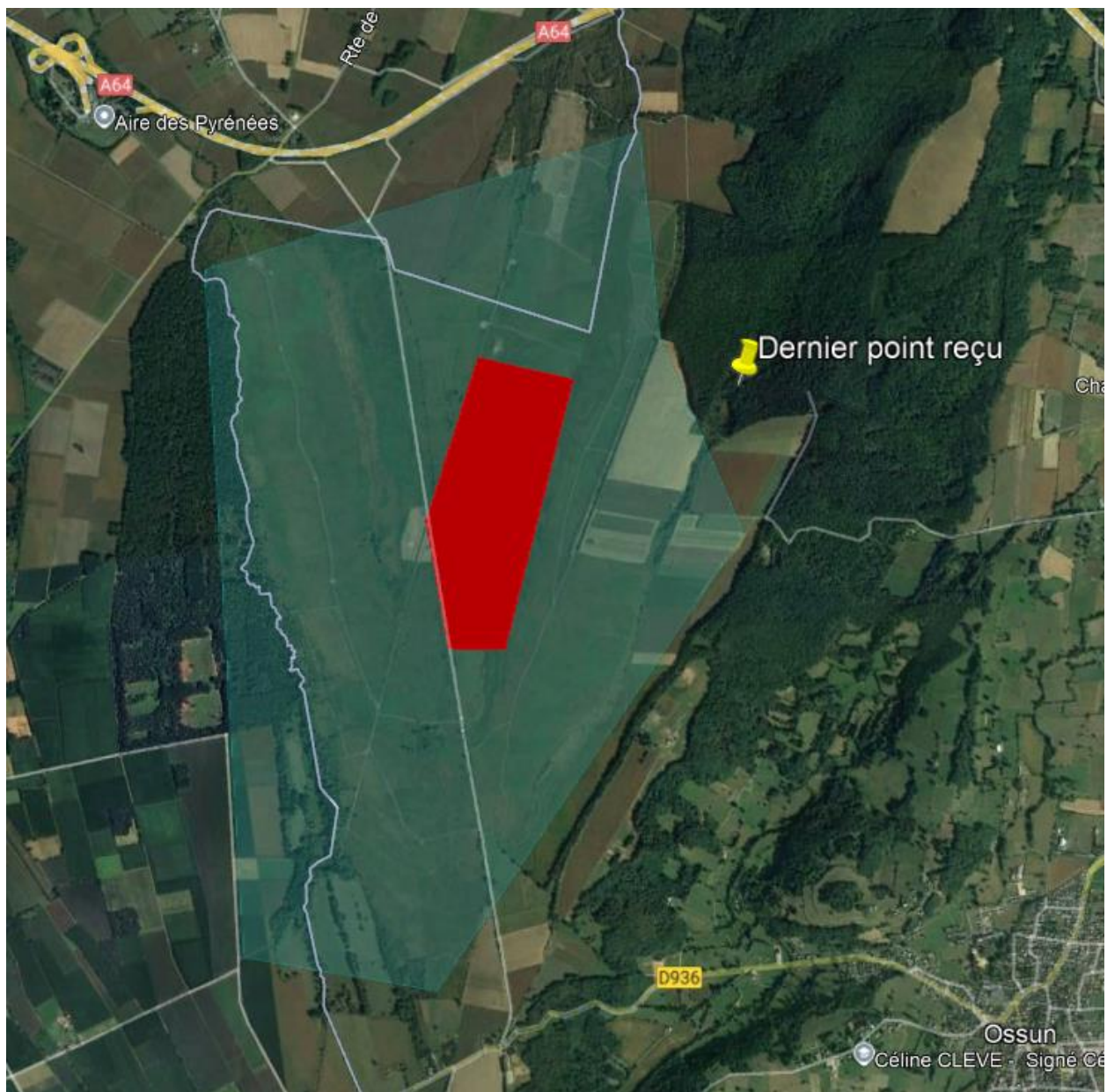
Résultats du vol

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 a été récupérée 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

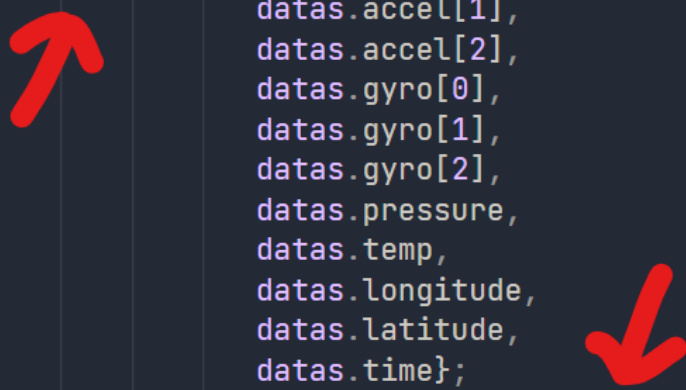
Après avoir récupéré le module le vendredi 12 juillet 2024 à 15h30, nous avons procédé à l'analyse des données. Nous avons vite aperçu un problème. Dans un premier temps, l'ensemble de nos données étaient fixes, on ne voyait donc aucune accélération, ni déplacement GNSS. Un second problème constitue 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°3ò|>4²y?nD9j -> 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.