

Compte Rendu

SIRIUS

Spica Space Technologies

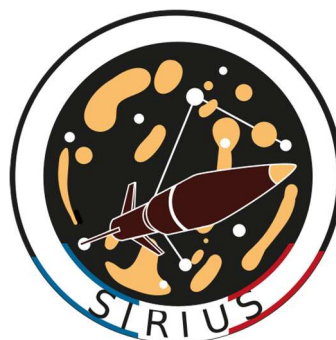


Table des matières

Introduction	3
1. Généralités	3
1.1 Présentation du club	3
1.2 Présentation de l'équipe	3
1.3 Objectifs de l'expérience scientifique	4
1.4 Financement et partenaires	6
2. Structure mécanique	8
2.1 Généralités	8
3. Systèmes électroniques embarqués	10
3.1 Séquenceur principal et système de récupération	10
3.2 Expérience	13
4. Résultats	14
5. Remerciements	15

Introduction

L'objectif de ce document vise à **présenter le projet de fusée expérimentale SIRIUS** portée par l'association **Spica Space Technologies** (SST). Le document regroupe les **informations essentielles à la compréhension de l'expérience** que l'équipe souhaite réaliser en vol mais également, la **justification du vecteur choisi** et plus particulièrement l'utilisation du propulseur PRO75-3G.

1. Généralités

1.1 Présentation du club

Le club **Spica Space Technologies** est une association fondée en septembre 2023 dont le but est de **participer aux campagnes de lancement organisées par Planète Sciences et le CNES**, que ce soit lors de la campagne **nationale du C'Space** ou lors des **campagnes régionales** se déroulant en région Occitanie. En parallèle, l'association vise à **promouvoir l'astronomie et les sciences spatiales**.

1.2 Présentation de l'équipe

Lavardin Mathieu



Ingénieur logiciel
Capgemini

Kieffer Ewen



Apprenti ingénieur Informatique
CS Group

Ducreux Emile



Doctorant en Physique - Université
de Reims/Namur et Institut royal
d'Aéronomie Spatiale de Belgique

L'équipe de **Spica Space Technologies** est constituée de trois passionnés du domaine spatial et astronomique, chacun apportant une compétence au projet Sirius.

- **Mathieu Lavardin** : responsable du **système d'information segment sol**.
- **Ewen Kieffer** : responsable de la **mécanique** et du **logiciel embarqué**.
- **Emile Ducreux** : responsable du **projet** et de l'**expérience scientifique**.

1.3 Objectifs de l'expérience scientifique

Les **objectifs** de ce projet sont la réalisation d'une **expérience scientifique** avec SIRIUS comme vecteur et le **suivi temporel** des principales grandeurs associées au vol d'une fusée, telles que la température, la pression, la position, la vitesse et l'accélération de l'engin, cela grâce à un ensemble de capteurs.

Concernant notre expérience, nous allons utiliser les caractéristiques de vol des fusées. En effet, une fusée décrit une **trajectoire parabolique** qui se caractérise en différentes phases :

- Une **phase propulsée**, où le moteur fait **accélérer** la fusée en éjectant des gaz sous pression,
- Une **phase balistique**, où la fusée **conserve l'inertie** donnée par le moteur qui est désormais éteint,
- Une **apogée**, qui décrit l'**altitude maximum** atteinte par la fusée,
- Et enfin, une **phase de redescente**, qui peut être dans le meilleur des cas sous parachute et le cas échéant, balistique.

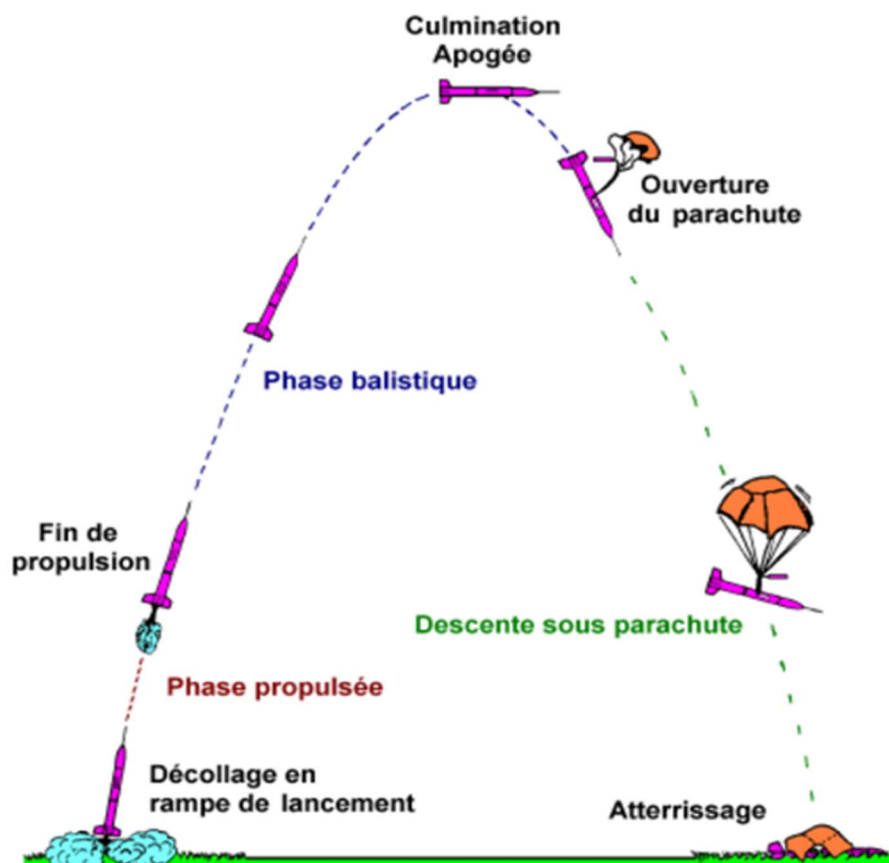


Figure 1 - Diagramme présentant les phases du vol de la fusée dans le document - Le Vol de la Fusée, Stabilité et Trajectographie v2.0 - Planète Sciences

La phase qui nous intéresse pour notre expérience est la **phase balistique**, qui se situe lors de **l'ascension de la fusée**, que nous pouvons comparer à la phase d'injection d'un avion 0g. La fusée est considérée dans ce cas en **chute libre** malgré le fait qu'elle monte encore dans le ciel pendant plusieurs secondes. Nous pouvons alors observer un état de **micropesanteur**, soit un bref état d'**impesanteur**, qui se caractérise par "l'état d'un système dans lequel **aucune accélération**, causée par la gravitation ou toute autre force, ne peut être mesurée par un observateur dans le système en question"¹. Pour quantifier cela, la fusée sera composée de **deux compartiments** pour l'expérience, tous deux **imprimés en 3D**.

Dispositif expérimental :

- Mise en place de 2x3 **tubes à essai** en plexiglass, de 10 mm de diamètre externe et de 8 mm de diamètre interne. Leur longueur sera d'environ 8 cm. Ils seront **encastrés dans le corps** du compartiment sur environ 5 mm en haut et en bas, afin d'être maintenus pendant le vol.
- Dans chaque tube transparent sera disposée une **bille** de 5 à 6 mm, elle sera ainsi guidée sur **une seule composante** d'espace : la **verticale**.
- Les tubes seront ensuite remplis de **différents matériaux** de **viscosités différentes** : air, eau, huile, liquide vaisselle, miel et fluide non newtonien. Les deux **tubes d'eau** serviront **d'expériences témoins**.
- Piste privilégiée pour **augmenter la viscosité** si besoin : Eau + Alginate de sodium (H₂O + C₆H₇NaO₆)

Pour recueillir des **résultats** lors du vol, **deux caméras** seront placées dans chaque compartiment et suivront **l'évolution temporelle des billes** dans leur milieu. Par ailleurs, **deux LED** serviront à éclairer les cellules.

Ci-dessous, nous retrouvons le modèle 3D de l'expérience :

¹ Van Nostrand *Encyclopedia of Science* 10th edition. Wiley-Interscience. Article « *Weightlessness* »



Figure 2 - Modèle 3D de l'expérience

De plus, nous voulons **démontrer** que les **briques logicielles développées** (Simulation, récupération, stockage, affichage des données de manière automatisée) **soient opérationnelles pour le vol**.

1.4 Financement et partenaires

Le **financement** du projet SIRIUS repose entièrement sur les **ressources personnelles** des membres engagés dans le projet.

Par ailleurs, le **partenariat** stratégique avec l'**association Mines Space** revêt une **importance** cruciale pour la réussite du projet. Forte de sa **vaste expérience** dans le domaine des **fusées expérimentales**, Mines Space contribue de manière **significative** en fournissant une part importante de la **mécanique** de la fusée. Cette collaboration permet non seulement de garantir la **qualité** et la **fiabilité** des composants, mais également de **réduire considérablement les coûts** liés au développement et à la recherche et développement (R&D) du projet.

Un aspect spécifique de leur **soutien** réside également dans la mise à disposition d'un **système de télémesure**. Ce système joue un rôle clé, en permettant le **suivi** et la **collecte de données** pendant le vol, contribuant ainsi à **optimiser les coûts** dans le cadre du projet SIRIUS. Grâce à cette **collaboration** fructueuse, le projet bénéficie de **l'expertise** et des ressources nécessaires pour **atteindre ses objectifs** de manière **efficace** et **économique**).

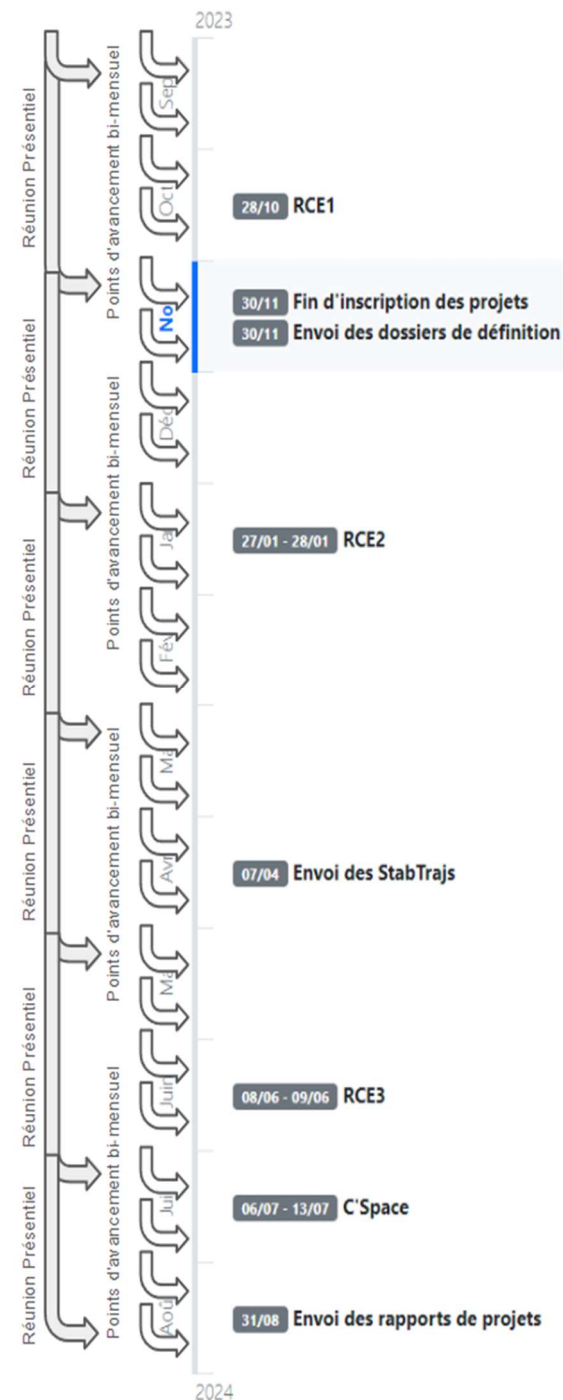
1.5 Planification

Le projet **Sirius** s'inscrit dans la **séquence temporelle du C'Space**, avec pour objectif principal l'**établissement d'une mécanique opérationnelle** en prévision de la **RCE2**. Dans un deuxième temps, une **fusée entièrement achevée et prête à être déployée** doit être disponible pour la **RCE3**.

Dans le cadre de cette démarche, chaque étape du projet sera **rigoureusement planifiée** et exécutée afin d'**assurer le développement et la préparation adéquate** de la mécanique pour la RCE2. Parallèlement, la conception de la fusée sera menée à son terme, garantissant qu'elle soit prête à être lancée lors de la RCE3 afin de passer cette étape.

Voici ci-dessous notre organisation :

Spica Space Technologies se distingue par la **diversité des activités** de ses membres, comprenant un **alternant**, un **doctorant** et un **CDI**. En l'absence de locaux dédiés, nous **utilisons notre propre matériel** ainsi que celui du **fablab "F@bRiquet"**. Étant **répartis dans plusieurs villes** (Toulouse, Bordeaux, Reims), la gestion de projet devient challengeante. Pour relever ce défi, nous avons **planifié des points d'avancement réguliers** et recourons à des services de **travail collaboratif en ligne**. Des **rencontres en présentiel** sont également planifiées tous les deux mois, pour effectuer des **points d'avancement** et procéder à une **phase d'intégration** où toutes les parties individuelles sont réunies et leur bon fonctionnement est vérifié. Un aspect crucial du processus implique la **réalisation de prototypes pour l'expérience**, qui seront soumis à des **tests approfondis avant d'être intégrés pour la RCE3**. Cette approche méthodique garantira que l'ensemble du projet sera fin prêt lors de la RCE3.



2. Structure mécanique

2.1 Généralités

La **structure** de la fusée est dite **treillis porteur** et a un diamètre allant de 120mm à 160mm. C'est-à-dire que c'est son treillis qui va permettre de fixer tous les éléments de la

fusée. Une peau viendra ensuite recouvrir les éléments et le treillis afin de protéger les éléments internes.



Figure 3 - Vue 3D de SIRIUS

La fusée est essentiellement composée **d'aluminium** et comporte également une peau en **PETG** sur sa partie supérieur.

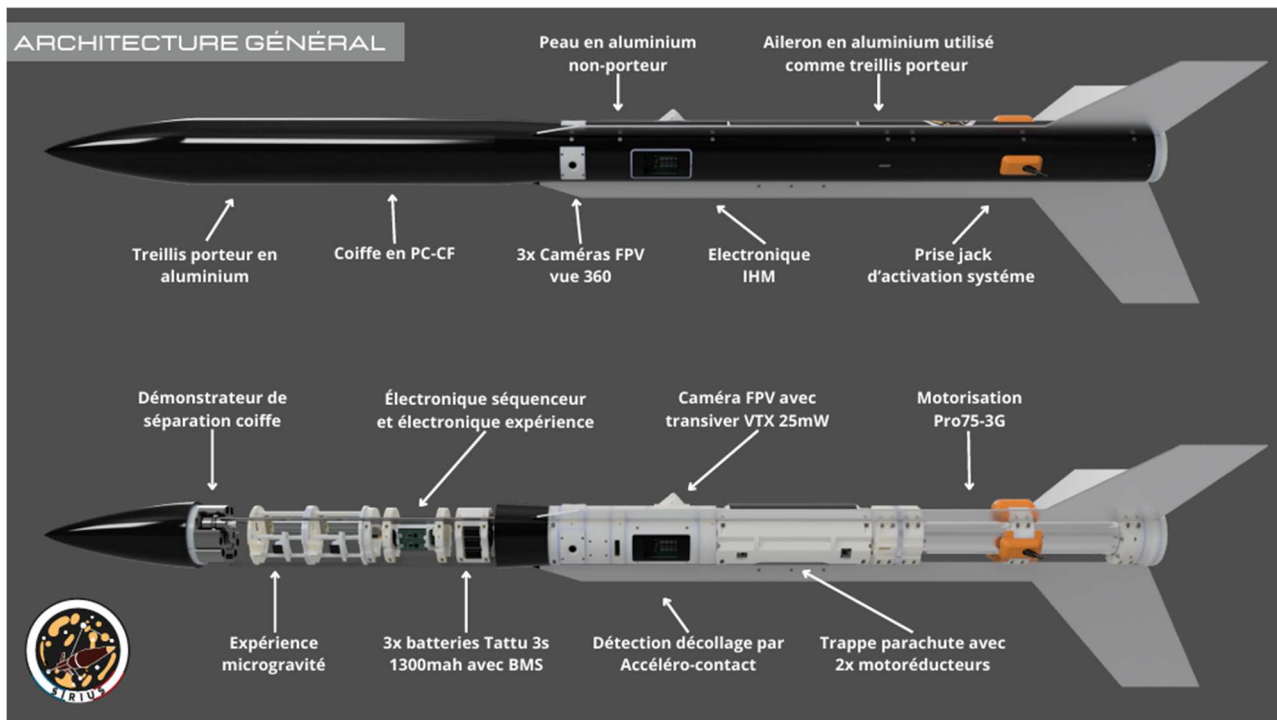


Figure 4 - Les différentes parties de la fusée

Deux caméras seront également présentes sur le **côté** de la fusée afin d'observer le vol. Celles-ci seront activées par le **séquenceur** et seront équipées d'un **IMU** permettant au sol de **supprimer les vibrations** enregistrées sur la vidéo.

3. Systèmes électroniques embarqués

3.1 Séquenceur principal et système de récupération



Figure 5 - OBC de SIRIUS

Le **séquenceur** et l'**électronique** sont des composants qui ont **déjà volés** à bord d'une fusée lors d'une **précédente campagne** du C'Space et lancée par Mines Space.

Figure 8 - CAO de la partie électronique.

Le **système de récupération** imaginé pour MSE et qui sera utilisé sur SIRIUS se base sur deux **motoréducteurs** afin de déverrouiller la trappe. Les motoréducteurs ont une **tige filetée** comme axe, qui vient directement se visser et **plaquer la trappe** contre le corps de la **case parachute**. Un jeu de **piston à ressort** vient se comprimer et permet d'expulser la trappe de **manière franche**.

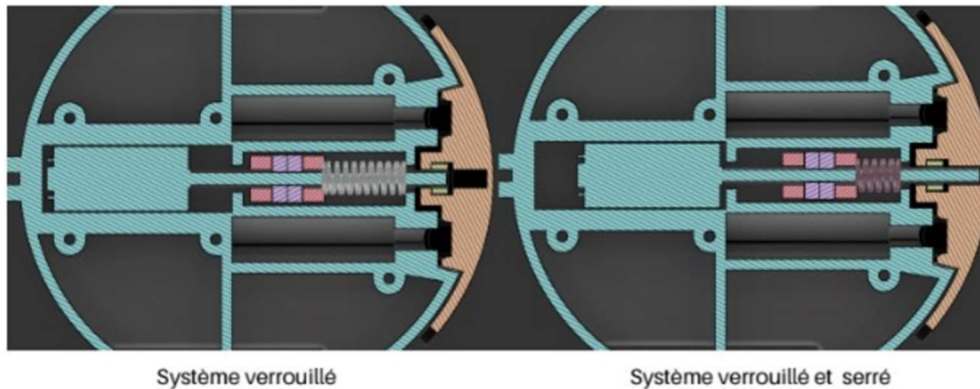


Figure 6 - Visualisation du système de récupération

Ces motoréducteurs ont **beaucoup de couple**. Leur faiblesse est une force dans le sens de l'axe, de compression ou traction. Pour éviter cela quand on serre la trappe, le motoréducteur est placé dans un logement qui lui autorise un **mouvement de glissière**.

Une **bague** est fixée à l'axe et bloquée latéralement par des **roulements**, eux-mêmes gardés en position par des **ressorts**. Ainsi, lors du **verrouillage du système**, le motoréducteur va visser son axe dans la trappe et se tirer lui-même vers l'avant en

comprimant le ressort. La trappe sera donc **solidement maintenue** par la vis mais également par le ressort (on limite ainsi la traction sur l'axe du motoréducteur).

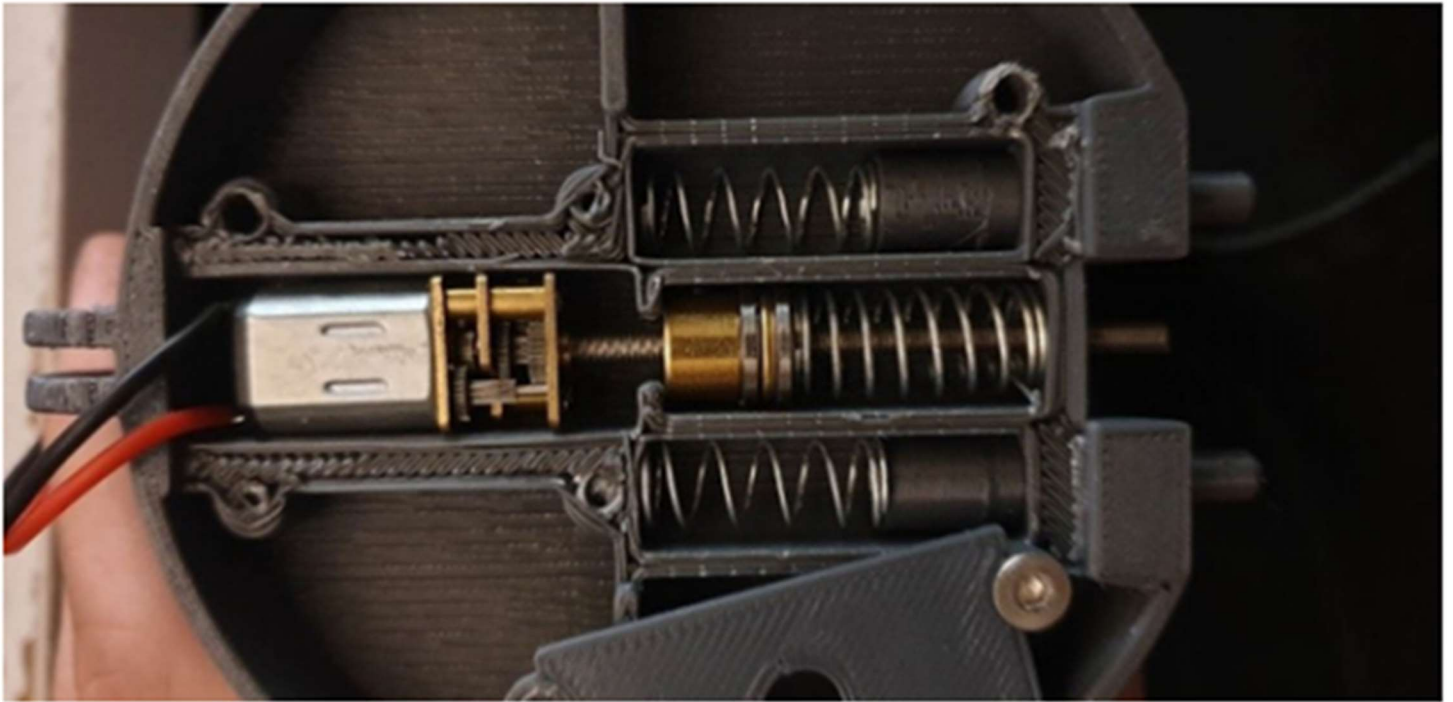


Figure 7 - Photo du système de récupération

Le **séquenceur** sera chargé de donner l'**instruction aux moteurs** au moment de faire **sortir le parachute de déverrouiller la trappe**. Il est donc capable de détecter les étapes du vol tels que le **décollage** ou l'**apogée** grâce à un capteur **IMU** et un **baromètre**.

Voici ci-dessous, en résumé, un schéma de l'électronique à bord de Sirius.

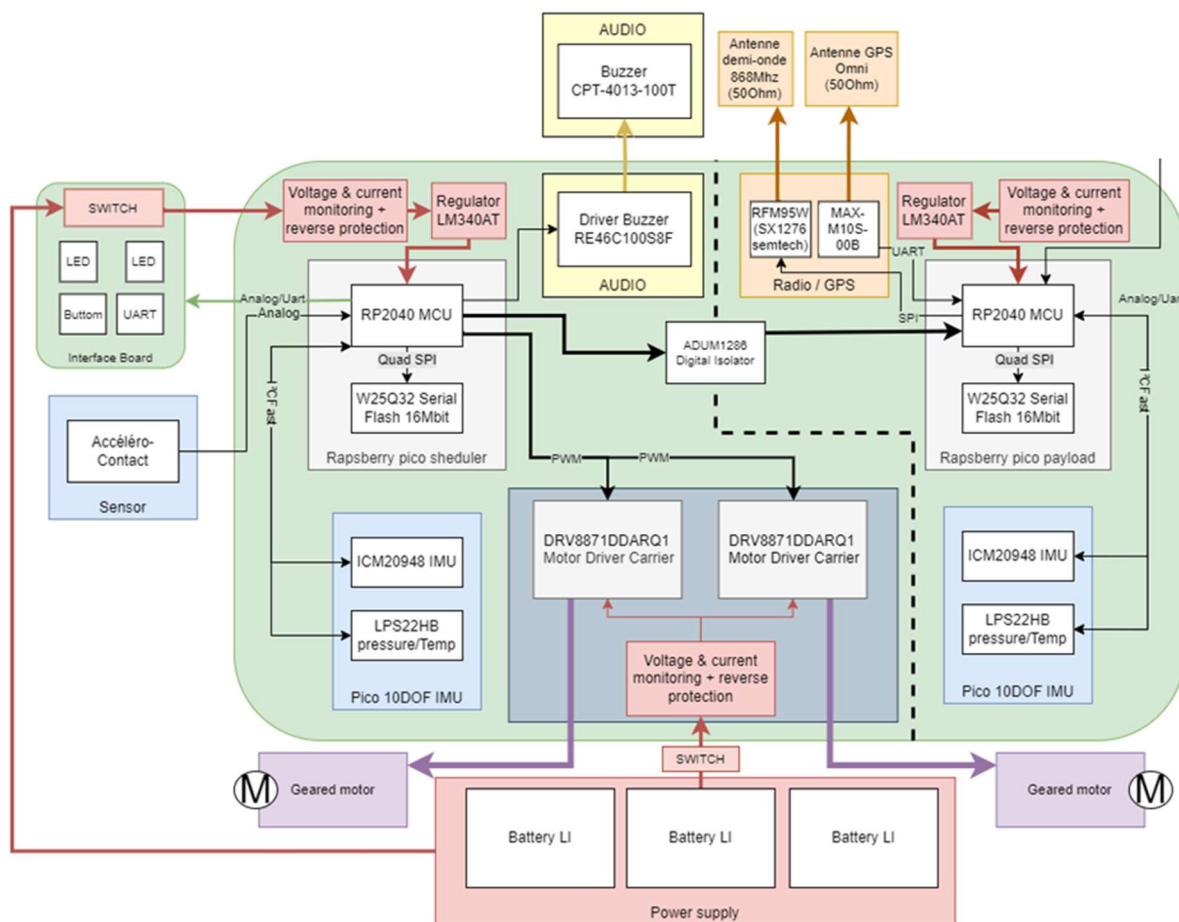


Figure 8 - Schéma de l'électronique

3.2 Expérience

Les **résultats** de l'expérience seront collectés grâce à des **caméras**. Les caméras sélectionnées sont des Hawkeye Firefly Split 4K. Elles ont l'avantage de pouvoir **stocker** les données sur une carte de SD.



Figure 12 - Caméra sélectionnée pour la fusée

4. Résultats

Malheureusement, suite à un incident pyrotechnique débutant par un long feu suivi d'une poussée énormément inférieure à la poussée nominale du PRO75, la fusée à réaliser un vol balistique.



Figure 9 - Photo de SIRIUS en vol

Comme on peut le voir sur cette photo, la fusée prend une trajectoire dangereuse dès la sortie de rampe. Et le système de déclenchement de la trappe étant actionné par une minuterie, impossible d'ouvrir le parachute au moment où la fusée prend une trajectoire balistique.

Concernant les expériences à bord, nous n'avons réussi à avoir des résultats que pour la caméra FPV qui a retransmis des images par radio. L'expérience de micropesanteur elle, n'a pas fonctionné car nous n'avons pas eu l'accélération attendue sans oublier les dégâts qu'on reçus les cartes SD rendant impossible leur exploitation. Du côté de la coiffe éjectable, elle était également actionnée par une minuterie, impossible donc de tester le système de récupération.

Enfin, le système de télémétrie lui a correctement fonctionné ce qui nous a permis d'avoir l'accélération de la fusée ainsi que sa position GPS.

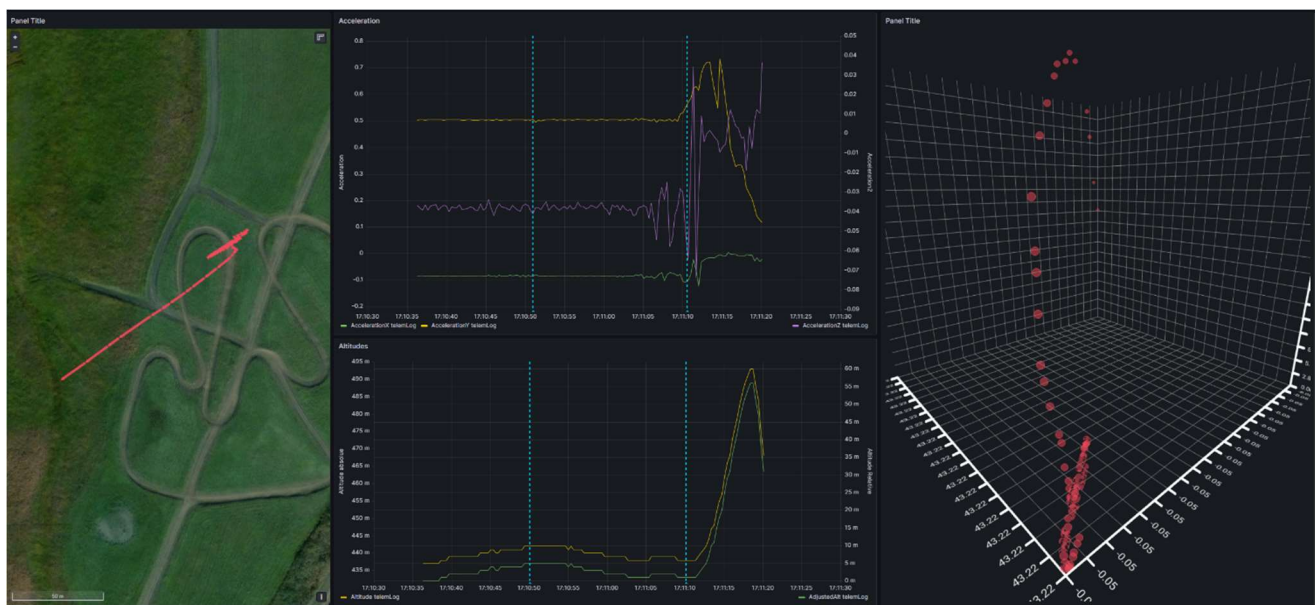


Figure 10 - Capture d'écran des données du vol

5. Remerciements

Un grand merci pour l'organisation du C'Space de cette année. Un merci spécial aux équipes qui ont travaillé sur les lancements des fusées, aux pyrotechniciens, à la sécurité et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cet événement. C'est grâce à eux que nous avons pu réaliser tout cela.