

Rapport de Projet PoulpyRocket

MINIF 2022

EQUIPE CLUB ROBOTIQUE ESISAR



by
CLUB ROBOT
ESISAR

Sommaire

Sommaire	1
Introduction	2
L'équipe	2
Le projet	2
Nos soutiens	2
Description mécanique	3
Présentation générale de la fusée :	3
Présentation détaillé de la fusée :	3
Description électronique et informatique	7
Électronique :	7
Software embarqué :	8
Expériences	9
Expérience n°1 : Éjection d'un CanSat comme charge utile	9
Expérience n°2 : Estimation de l'apogée et simulation du déclenchement du système de récupération	10
Déroulement du vol	11
Conclusion	13

Introduction

L'équipe

Le projet PoulpyRocket a été porté tout au long de cette année par notre équipe, Poulpy Engineering.

Notre équipe est exclusivement constituée d'étudiants de Grenoble-INP Esisar. Nous sommes 5 à avoir travaillé sur ce projet :

- **Nathan GARNIER**, chef d'équipe & responsable mécanique (étudiant en 4eme année)
- **Alexis MOYART**, responsable RF (étudiant en 4eme année)
- **Eloi DONVAL**, partie électronique et soft (étudiant en 3eme année)
- **Martin BOULIN**, partie modélisation et mécanique (étudiant en 3eme année)
- **Loïc SAVORNIN**, partie électronique et soft (étudiant en 3eme année)
- **Emilie TRAN**, partie soft (étudiante en 3eme année)

Le projet

Notre objectif était de réaliser une mini fusée capable de décoller et de faire de la télémétrie durant son vol, ainsi que de larguer une fois à l'apogée une sonde dont les missions se rapprochent au maximum de celles d'un atterrisseur (télémétrie, estimation de position). L'aspect pluridisciplinaire de ce projet nous a permis d'en apprendre beaucoup sur la réalisation technique et l'organisation/gestion d'une équipe. Nous avons souhaité réaliser ce projet en mettant en œuvre des technologies basses consommations et compactes avec des parties mécaniques développées par des membres de notre équipe. Notre volonté était de produire une mini fusée conçue et fabriquée de A à Z par des membres du club (CAO, CAD, Software embarqué, Software haut niveau au sol).

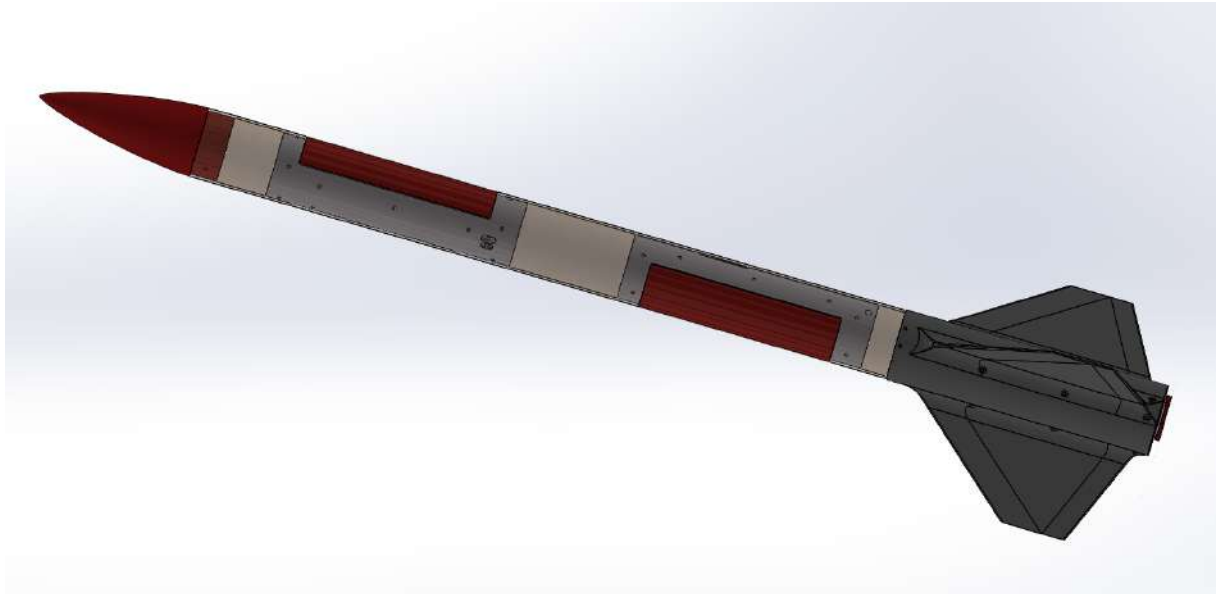
Nos soutiens

Nous souhaitons remercier notre école Grenoble-INP ESISAR, ainsi que les sponsors de notre club, Sotic & Elsys Design pour leur confiance. Cela nous donne les moyens de mener à bien de tels projets ainsi que l'ensemble des activités de notre club au travers de projets "fil-rouge", workshops, ateliers d'initiation à la CAO mécanique / électronique ...



Description mécanique

Présentation générale de la fusée :



Modèle 3D de la mini fusée

La fusée mesure 1,05 m pour une masse estimée à 1,8 kg (moteur et combustible compris).

Nous avons choisi de réaliser le corps de la mini fusée en carton. Celui-ci est renforcé par l'application de colle à bois. La coiffe et les différentes pièces seront quant à elles imprimées en 3D en PETG.

Le moteur (Pandora PRO 24-6G BS) est maintenu dans la fusée à l'aide de 3 anneaux de centrages.

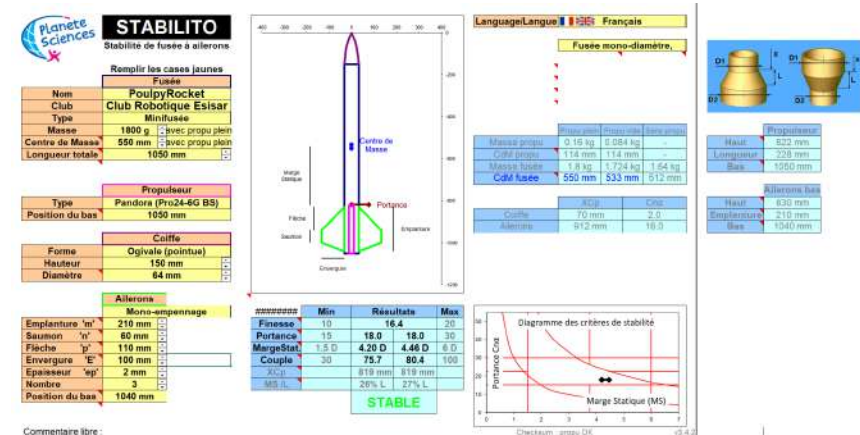
Au dessus du moteur se trouve le parachute de la mini fusée. Une trappe latérale permettra au parachute de se déployer correctement. Au sommet de la trappe parachute se trouve l'accéléromètre et le gyroscope pour être au plus proche du centre de gravité de la fusée. La carte d'expérience se trouve dans le faux fond de l'éjecteur du parachute.

Une charge utile, un CanSat, se retrouve en haut du tube de la fusée. Une trappe latérale permettant ici encore l'éjection. Un faux-fond dans l'éjecteur du CanSat abrite le minuteur permettant d'activer les servomoteurs qui ouvriront les trappes.

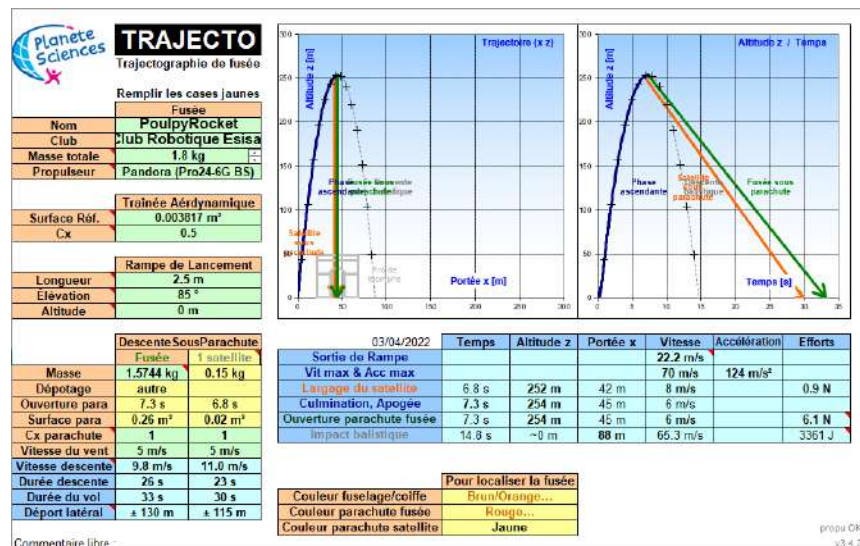
Présentation détaillé de la fusée :

- StabTraj & Ailerons

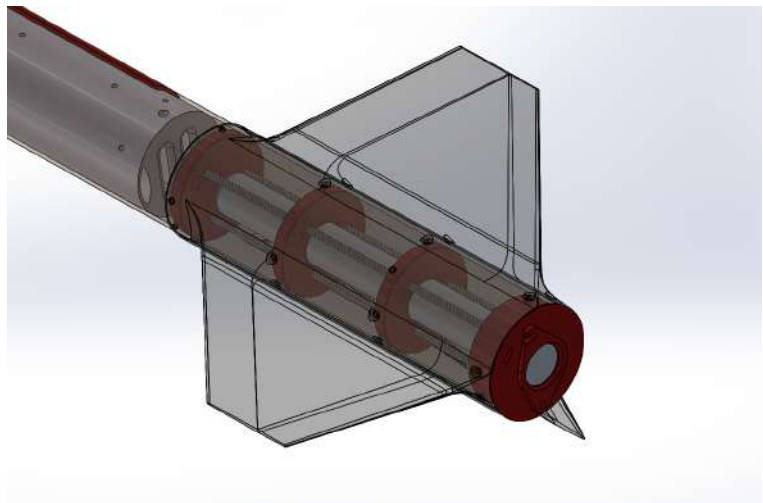
Ci-contre l'onglet Stabilito :



Ci-Contre l'onglet trajecto :

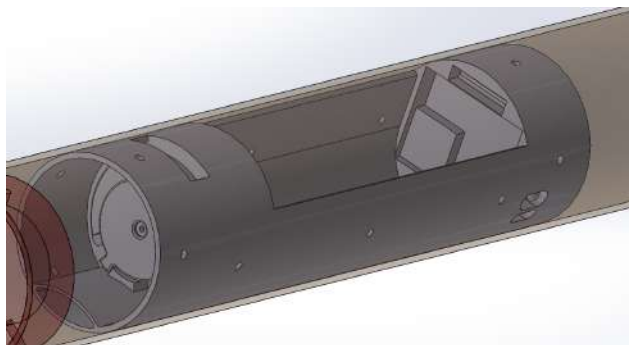


Ci-contre, l'assemblage des ailerons et de la section propulseur dans le tube de la fusée.

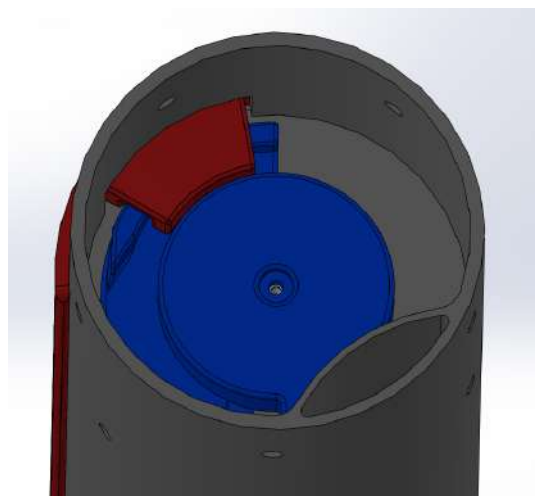


- *Système d'éjection et de récupération*

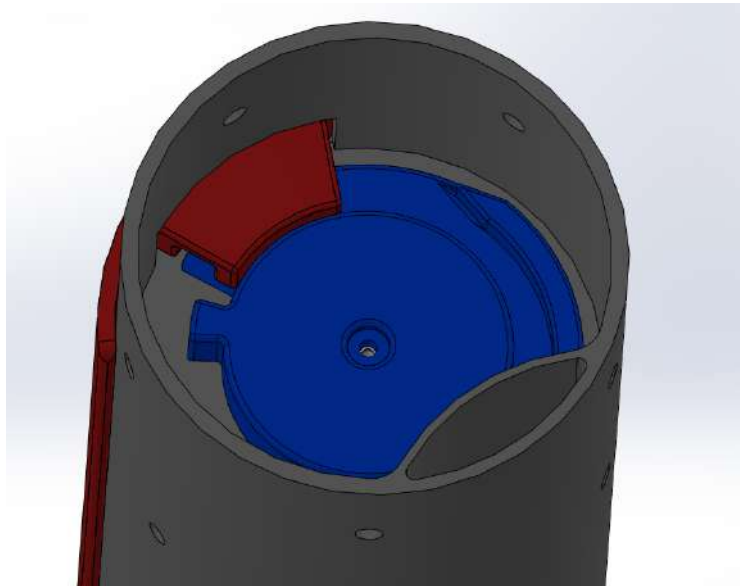
Assemblage d'un éjecteur dans la fusée :



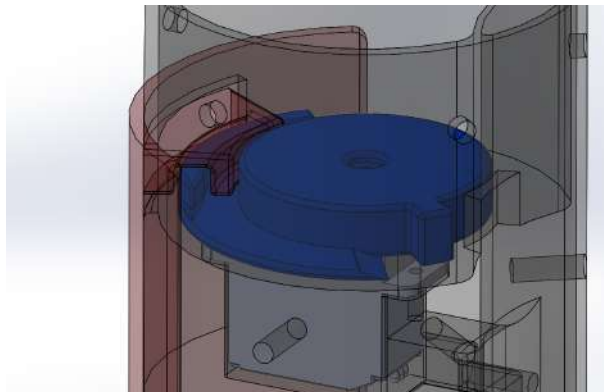
Le verrou de trappe (ici fermé). La partie rouge est la trappe. Dans cette configuration, il n'est pas possible que la trappe s'ouvre. De plus, elle est bloquée dans les trois axes, elle ne se déplacera donc pas.



Le verrou de l'éjecteur (ici ouvert). Dans cette configuration, la trappe est libre et peut très facilement se détacher totalement de l'éjecteur, laissant le parachute ou l'expérience se déployer.

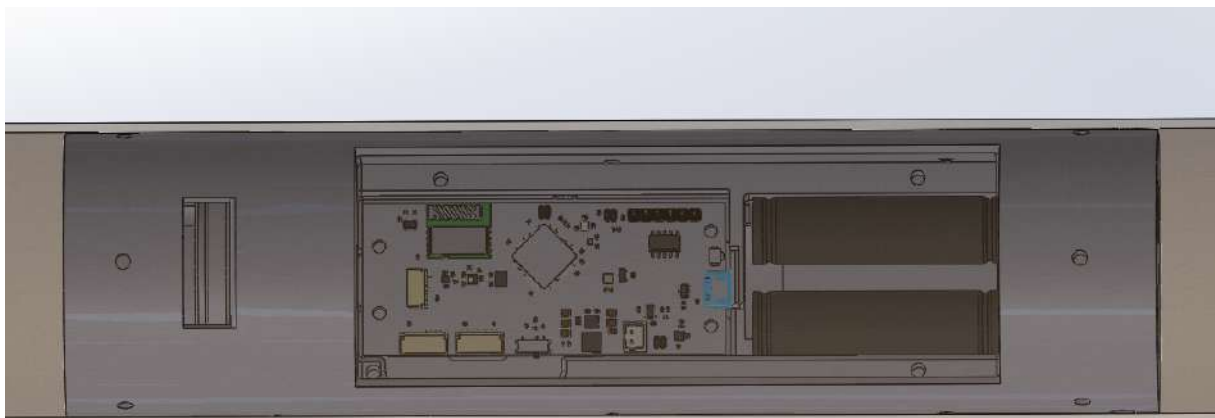


Modèle 3D du verrou. La trappe (en rouge) est bloqué par le verrou (en bleu) qui est contrôlé par le servomoteur en dessous (gris)



- ***Support de carte d'expérience***

La carte d'expérience se trouve dans un double fond de la trappe parachute. De plus, on notera la présence d'une batterie 2S permettant d'alimenter le minuteur et les actuators.



Description électronique et informatique

Électronique :

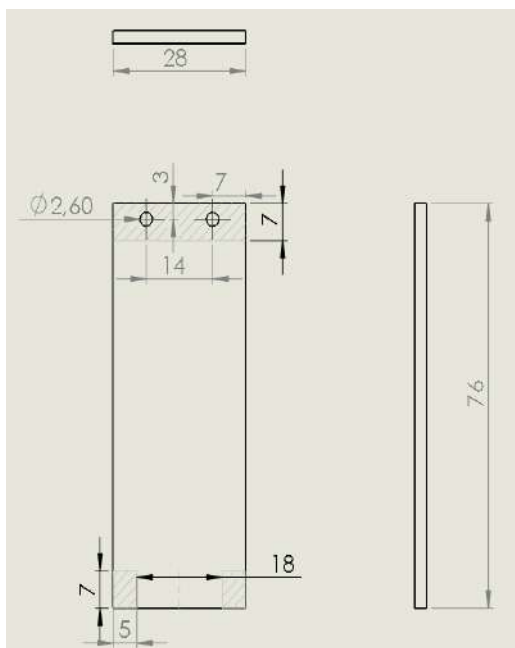
L'électronique de la fusée est composée de plusieurs parties :

- Gestion de la minifusée :
 - La carte contrôleur de vol
 - La carte minuterie
- Gestion du CanSat :
 - La carte de contrôle de descente et d'atterrissage

Les cartes contrôleur de vol et gestion du CanSat sont identiques, seuls les composants extérieurs et les programmes implémentés sont différents.

Le PCB de cette carte a été conçu sous KiCAD. La carte possède 4 couches, 2 extérieurs pour les lignes logiques et 2 intérieurs pour les plans d'alimentations et de masse.

Ci-dessous le gabarit du PCB :



Il est composé en intégralité de composants CMS (hors connecteur gpio et interface d'extension).

Les composants notables sur cette carte sont :

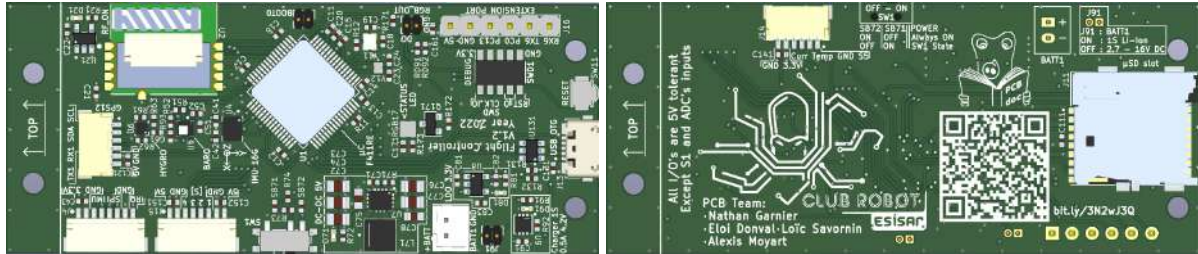
- IC chargeur batterie : LTC4065EDCTRMPIBF (AD)
- Port USB micro-b / Port μ SD
- μ Contrôleur : STM32F411RE (ST)
- IMU : LSM6DSL (ST)
- Barometre/thermometre : LPS22HB (ST)
- Hygromètre : HDC2010 (TI)
- Module RF : SPSGRFC-868 (ST)

Cette carte possède 5 ports d'extension :

- Interface avec 5v, gnd, I²C, UART (GPS)
- Interface avec 5v, gnd, 2 GPIO, UART (Ext.)
- Interface avec 5v, gnd, 4 GPIO (Sorties timer)
- Une sortie pour led rgb numérique (Timer1)
- Interface avec 3.3v, gnd, GPIO, 2 ADC

Un interrupteur CMS présent sur le côté de la carte permet le contrôle de tous les bus d'alimentations. Un solder bridge est prévu pour forcer le démarrage du circuit car l'interrupteur pourrait s'ouvrir lors de fortes accélérations

Ci-dessous, le rendu 3D des 2 faces du PCB :



Plusieurs modes d'alimentations sont disponibles :

- Via USB avec/sans charge de la batterie
- Via batterie sur le port JST dédié

Le contrôleur de vol ainsi que les servomoteurs sont alimentés par 2 batteries lithium, ce qui permet d'avoir 5 V pour les servomoteurs et 3.3 V pour le microcontrôleur et ses périphériques (certains sont aussi en 5 V). La carte minuterie est alimentée par une cellule lithium pour respecter la contrainte imposée d'isolation galvanique entre le contrôleur de vol et ses périphériques, et la minuterie.

La batterie de la sonde est une cellule Li-Ion Keppower 14500 d'une capacité de 1000 mAh. Elle intègre son propre circuit de protection de surcharge, de sous-charge et de sur-courant.

La carte minuteur est constituée d'une arduino pro mini, alimentée par une batterie li-ion 2S.

La sonde est éjectée en premier par la minuterie qui envoie un signal d'ouverture au servomoteur de la trappe dédiée. Quelques secondes après, le contrôleur de vol envoie le signal d'ouverture à l'autre servomoteur qui ouvre la trappe parachute de la PoulpyRocket.

Software embarqué :

Le μ Contrôleur étant un STM32F411RE, nous développons tous les drivers et programmes de mission en C. Un ordonnanceur simple est en place afin d'assurer le déroulements des opérations, ci-dessous un schéma simplifié d'un cycle de l'ordonnanceur :



Ensuite, nous avons fait le choix d'utiliser nos CanSat comme station sol étant donné qu'il sont tous équipés du même module de radiocommunication, pour cela nous détectons si l'USB est branché au démarrage et si oui, nous exécutons le programme de la station sol.

La station sol exécute un programme python qui fait interface entre le CanSat récepteur et Grafana, ce qui nous permet un affichage temps réel des données collectées.

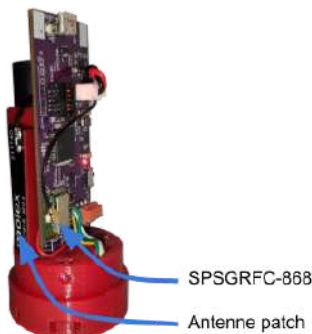
Expériences

Expérience n°1 : Éjection d'un CanSat comme charge utile

L'objectif est d'éjecter un CanSat de 33 cL lorsque la fusée atteint l'apogée. Ce CanSat déploie son parachute lors du largage et réalise des mesures télémétriques.

Le CanSat est équipée d'un ensemble de capteurs et la télémétrie complète est envoyée à une station sol. En cas d'échec, l'analyse des données transmises par radio permet d'identifier l'origine des problèmes et ainsi d'éviter leurs reproductions sur de futures missions !

Notre système de radiocommunication sur un SPSGRFC-868 de chez STMicroelectronics. Ce module nous permet d'avoir un contrôle total sur la partie radio (modulation, largeur de canal, puissance d'émission, ...) mais aussi sur la partie empaquetage des données (préambule, adresse, checksum, ...).



Nous utilisons une modulation en GFSK, centrée en 869.5 MHz avec une déviation de 25 kHz pour réaliser une communication mono-directionnelle, complétée d'une vérification par checksum. Cette configuration simple nous permet une communication à 38.6 kbit/s avec une très bonne robustesse.

Ce module est couplé à une antenne patch permettant d'avoir une solution RF complète, performante et Low-Power, intégrée dans un espace restreint.

Une seconde caractéristique d'une CanSat est l'implémentation logicielle d'un estimateur d'attitude et de position dans l'espace.

Afin de réaliser cette tâche, nous avons mis en place un algorithme AHRS (Attitude and Heading Reference System) qui permet d'obtenir l'attitude du CanSat sur ses trois axes. Cet algorithme est ensuite complété par d'autres capteurs afin de déterminer la position du CanSat dans l'espace.

Pour cela nous avons choisi un ensemble de capteurs dimensionnés pour cette tâche :

- Accéléromètre / gyroscope : LSM6DSL (STMicroelectronics)
- Baromètre : LPS22HB (STMicroelectronics)
- GPS / boussole : M8Q-5883 (Matek)
- Hygromètre : HDC 2010 YPAR (Texas Instruments)

L'accéléromètre et le gyroscope sont utilisés par l'algorithme AHRS afin d'obtenir l'attitude du CanSat que nous complétons par le GPS et le baromètre afin de déterminer sa position dans l'espace.

Expérience n°2 : Estimation de l'apogée et simulation du déclenchement du système de récupération

Cette deuxième expérience libre est l'implémentation logicielle d'un estimateur de position absolue dans l'espace. Le but est l'implémentation d'un filtre de Kalman permettant de faire de la fusion de capteurs et ainsi de réussir à déterminer une estimation de la position absolue de la mini-fusée dans l'espace.

Pour cela nous avons choisis un ensemble de capteurs dimensionnés pour cette tâche :

- Accéléromètre/gyroscope : LSM6DSL (STMicroelectronics)

Ce système a été choisi car il intègre au sein du même boîtier LGA un accéléromètre et un gyroscope accompagné de leur système de traitement, il possède une interface SPI pour la communication et 2 GPIOs programmables pour demande d'interruption au microcontrôleur. Les deux capteurs sont calibrés d'usines et possèdent leurs circuits de compensation en température ce qui permet une précision de la mesure stable dans le temps. La sensibilité des deux capteurs est réglable de 2 g à 16 g en pleine échelle pour l'accéléromètre et 125 à 2 000°/s pour le gyroscope.

- Accéléromètre : LSM6DSO32 (STMicroelectronics)

Accéléromètre similaire au précédent mais la sensibilité des capteurs est réglable de 2 à 32 g. L'objectif est d'éviter les phénomènes de saturation lorsque la mini fusée dépasse les 16 g.

- Baromètre : LPS22HB (STMicroelectronics)

Ce baromètre numérique a été choisi car son intervalle de pression de 260 à 1 260 hPa est parfait pour notre utilisation, il est aussi calibré d'usine et possède un circuit de compensation en température.

- GPS/boussole : M8Q-5883 (Matek)

Ce module est composé d'un GPS M8Q (Ublox) et d'une boussole numérique QMC5883L. Nous l'avons choisis car ce module est de petite taille ce qui est parfait pour notre mini fusée, de plus ces performances sont très acceptables notamment la rapidité pour obtenir un fix GPS lors d'un "Cold Start" (lorsque le GPS doit retrouver la constellation entièrement). La boussole numérique possède aussi des performances acceptables et est déjà utilisée notamment sur des drones autonomes.

Cet ensemble de capteurs nous permet donc de pouvoir obtenir une estimation d'altitude avec le baromètre, une estimation d'attitude avec l'accéléromètre, le gyroscope et la boussole et une estimation de position dans le référentiel terrestre avec le GPS. Ainsi la mini fusée est prête au niveau

des capteurs pour l'implémentation d'un filtre de Kalman étendu (EKF) afin d'obtenir une estimation absolue de la position et de l'attitude de la mini fusée dans l'espace.

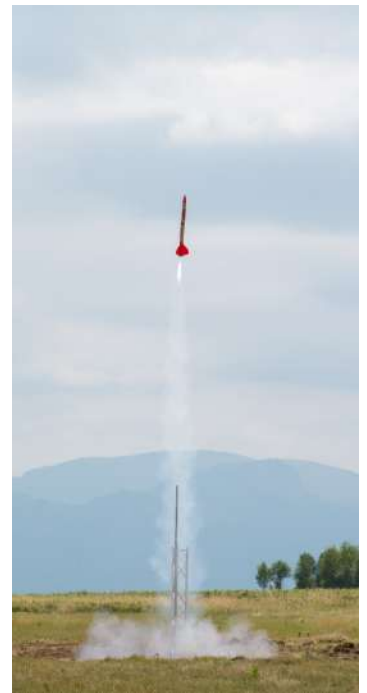
N.B. : Les mesures brutes des capteurs et les estimations seront enregistrées à haute-fréquence sur une carte micro SD à bord de la mini fusée en plus d'être transmises par notre système de radiocommunication à plus faible fréquence.

Déroulement du vol

Le vol s'est déroulé le 20 Juillet 2022 à 15 h 13. Les conditions étaient idéales : temps clair, température à 38°C et pas de vent.

La fusée a réalisé un vol nominal, le satellite et le parachute se sont déployés tel que prévu. Suite à un problème dans le code, la carte intégrée à la mini fusée n'a pas fonctionné. De plus, l'accéléromètre du CanSat a mal été paramétré et été configuré sur une plage 0-8 g au lieu de 0-16 g. La charge utile s'est déployée à l'instant souhaité et son vol fut nominal.

L'altitude maximum a été de 315 m tandis que l'accélération a dépassé les 8 g. En utilisant les données du CanSat, étant donné que la carte, les capteurs et le code sont très proches, l'apogée a été correctement estimée (corrélation entre les images vidéos et la télémétrie) permettant ainsi de simuler précisément un déploiement du système de récupération.



Télémétrie obtenue par une partie des capteurs du CanSat.



Déploiement réussi du CanSat en vol



PoulpyRocket une fois atterrie.

Conclusion

PoulpyRocket est la première mini-fusée réalisée par le Club Robotique Esisar et nous estimons le résultat très positif. La partie mécanique a été réussie, les éjections se sont déroulées telles que prévues, le parachute était bien dimensionné et l'altitude atteinte est au-delà de nos espérances.

La première expérience fut un succès malgré l'erreur de configuration de l'accéléromètre, la largage fut réussi et la télémétrie fonctionna correctement. Concernant la seconde expérience, malgré la petite erreur bloquante dans le code et en considérant que le code de la carte de la charge utile et celui de la carte de la minif sont très proches, le succès de la télémétrie du CanSat est encourageant quant à un futur succès de la télémétrie embarquée dans la minif et un déploiement de parachute par détente de l'apogée.

Nous tenions une nouvelle fois à remercier notre école, Grenoble-INP ESISAR, et les sponsors, Elsys Design et Sotic, pour le soutien indispensable qu'ils apportent à notre club.

Merci au CNES et à Planète Sciences pour l'organisation de cette compétition et du C'Space. C'est un événement qui clôture en beauté cette année de travaux et qui nous a permis de découvrir les différents types de projets spatiaux qui y sont menés avec les étudiants : ballons sondes, mini-fusées et fusées expérimentales.

Réaliser cette minif a été pour nous l'occasion d'apprendre beaucoup et de mettre en pratique une partie des enseignements qui nous a été dispensée à l'Esisar dans le domaine de l'aérospatial. Cette première itération de la PoulpyRocket ouvre la voie à une nouvelle version, PoulpyRocket II, pour l'année 2023.