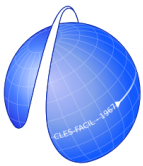


# Rapport de vol minifusée *Stephenson's Rocket*

MF71

## Table des matières

1	Le club.....	2
2	Mécanique du projet.....	3
2.1	Générale .....	3
2.1.1	Dimensions .....	4
2.1.2	Masse .....	4
2.1.3	Matériau .....	4
2.1.4	Structure.....	4
2.2	Partie ailerons et propulseur .....	5
2.3	Partie centrale .....	6
2.4	Partie parachute .....	7
3	Electronique .....	8
3.1	Carte Timer.....	8
3.2	Carte Expérience .....	9
4	Annexe.....	16
4.1	Photos de la fusée .....	16



## 1 Le club

Le CLES-FACIL est une association de l'INSA Lyon qui a pour but de concevoir et de fabriquer des fusées amateurs. Elle résulte de la fusion en 1983 du FACIL (Fusée Astronautique Club INSA de Lyon), fondé en 1967 et du CLES (Club Lyonnais d'Expérimentations Spatiales) datant de 1980. En 2019, le CLES-FACIL a absorbé le CAIL (Club d'Astronomie de l'INSA de Lyon). Cette année, l'association compte une trentaine de membres, pour la plupart étudiants à l'INSA Lyon et à l'Université de Lyon. Nous participons régulièrement à des événements en lien avec l'aérospatial et essayons d'orienter nos activités sur la vulgarisation scientifique (participation à l'initiative Demain mais en mieux du festival Yggdrasil, participation au forum France Air Expo de l'Académie Aéronautique et Spatiale AURA) et le partage de notre passion (24h de l'INSA, sorties astronomiques sur le campus).

Le club réalise 3 activités en parallèles :

- De l'astronomie
- La participation au concours du C'Space avec nos fusex, minifs
- Le développement de planeurs et avions RC



## 2 Mécanique du projet

### 2.1 Générale

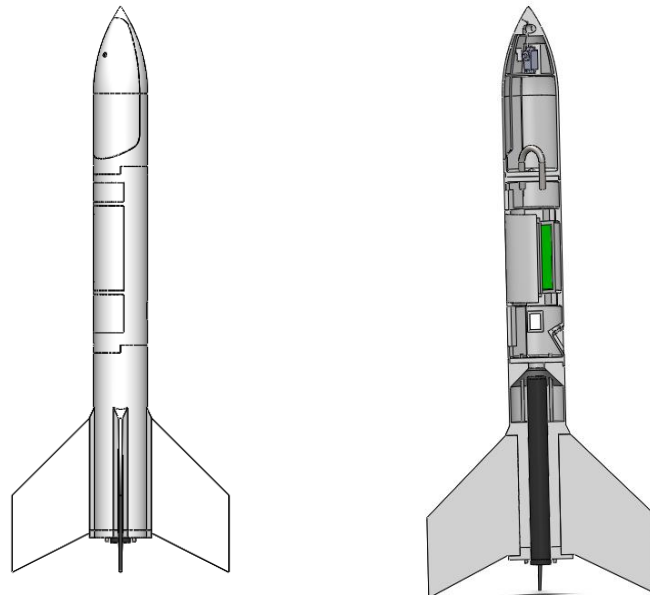
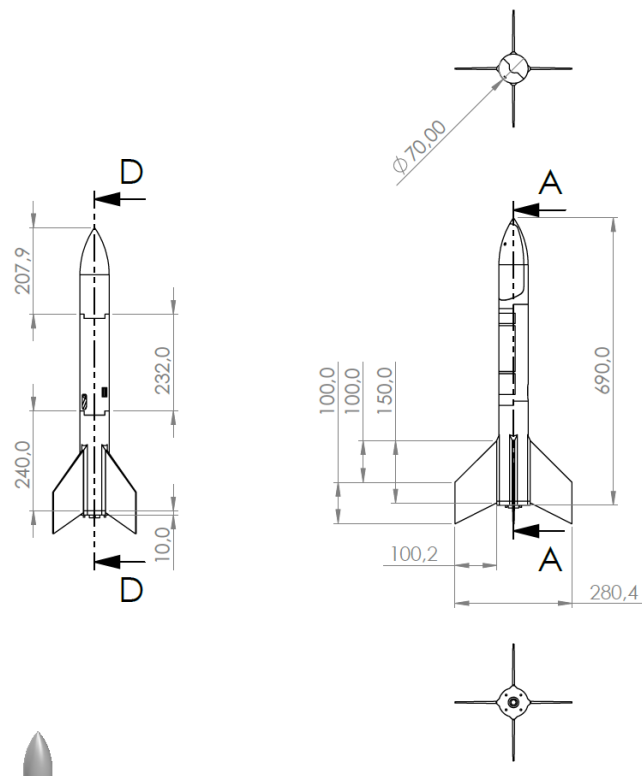


Figure 2-1 : visualisation 3D de la fusée





### 2.1.1 Dimensions

Dimension générale :

Diamètre	70 mm
Longueur totale (avec ailerons)	775 mm
Longueur totale sans ailerons	740 mm
Hauteur de coiffe	113 mm

Dimension des ailerons

Emplanture	150 mm
Saumon	100 mm
Flèche	100 mm
Envergure	100 mm

### 2.1.2 Masse

Masse à vide	1100 g
Masse avec propulseur vide	1184 g
Masse avec propulseur plein	1260 g

### 2.1.3 Matériau

Initialement, la fusée devait être réalisée en polycarbonate. Malheureusement, n'ayant pas trouvé de tube qui satisfaisaient nos exigences, et ne souhaitant pas se tourner vers du métal (trop lourd) ou de la fibre de carbone (très contraignante à fabriquer), nous nous sommes tournés vers l'impression 3D.

Le choix du filament s'est porté sur l'ABS, car ce plastique offre une bonne résistance mécanique et thermique.

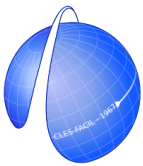
De plus, la fabrication additive offre l'avantage de pouvoir réaliser des pièces de forme complexe, permettant ainsi de fabriquer la structure interne directement dans le tube, limitant le nombre de pièce à fabriquer.

### 2.1.4 Structure

La fusée se découpe en 3 parties majeures, :

- La partie propulseur avec ses ailerons (en bas)
- La partie centrale (qui contient l'électronique)
- La partie parachute (en haut)

Elle sera montée sur une rampe cage



## 2.2 Partie ailerons et propulseur

Cet ensemble comporte un tube réalisé en impression 3D, conçu pour accueillir le propulseur, et les ailerons. Ces derniers sont glissés dans des rails vers le haut, puis verrouillés en bas par la bague de retenue du propulseur. (Voir schéma ci-dessous).

L'ensemble est rigidifié par 4 tiges filetées en acier qui permettent d'assembler la bague de retenue du propulseur, le compartiment propulseur, et le compartiment central (décrit plus loin).

Les ailerons sont en impression 3D en remplissage plein. Les ailerons mesurent 5mm d'épaisseur à la base (là où la contrainte est la plus forte), puis ils s'affinent pour ne mesurer plus que 2mm d'épaisseur en extrémité (là où la contrainte est la plus faible).

La base des ailerons est conçue pour pouvoir s'insérer dans le rail dans le tube. Plusieurs essais ont été nécessaire afin de déterminer quel était le jeu optimal pour pouvoir glisser les ailerons dans le rail, sans que ceux-ci ne bougent une fois le tout assemblé.

La retenue du propulseur se fait quant à elle par une simple languette en acier placée sur une des tiges filetées

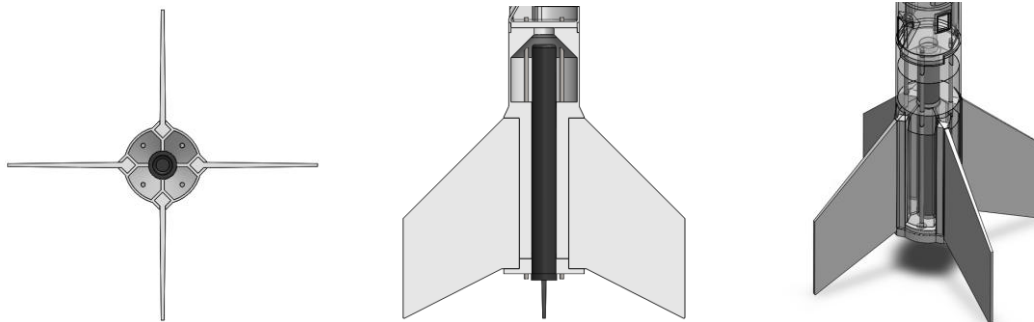


Figure 2-3 : vue 3D des ailerons

### 2.3 Partie centrale

La partie centrale est celle qui contient l'électronique principalement. Elle est constituée d'une seule pièce en impression 3D faisant office de structure principale pour le fuselage et l'aménagement intérieur, avec différentes ouvertures pour accéder aux divers éléments.

Une première ouverture permet d'accéder au logement de la batterie, ainsi que l'interrupteur d'alimentation et le port jack qui sont fixés sur le fuselage. L'ouverture est refermée par une trappe clipsée sur le fuselage, permettant ainsi son accès facilement sans outils. Plusieurs essais ont été réalisés afin de déterminer l'épaisseur nécessaire de la pièce pour que celle-ci ne puisse pas s'ouvrir en vol.

Au-dessus se trouve l'électronique. L'électronique est montée sur un tiroir qui coulisse dans le fuselage, pour pouvoir l'extraire facilement. L'ouverture est refermée par une trappe clipsée et vissée sur le fuselage.

Une dernière trappe est présente au-dessus pour accéder aux vis qui joignent ce compartiment avec le compartiment du dessus.

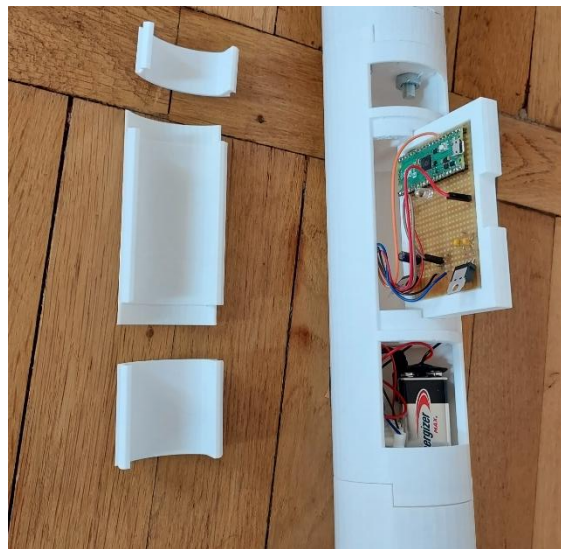


Figure 2-4 : photo du compartiment électronique

## 2.4 Partie parachute

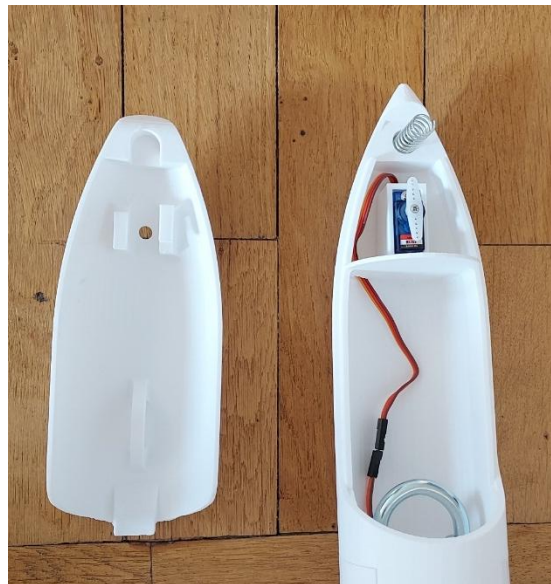
Cette partie regroupe le système de déploiement du parachute, ainsi que la coiffe. Elle est en 2 morceaux :

- La partie fixe, attachée à la partie du dessous par l'anneau d'accroche du parachute
- Et la partie mobile, qui s'éjectera à la manière d'une trappe et entrainera le parachute.

Dans la coiffe se trouve un servo moteur qui retient la partie mobile.

Plusieurs prototypes ont été réalisés afin de déterminer la meilleure forme pour que les 2 ensembles s'emboîtent parfaitement

Toutes les pièces sont en impression 3D.



*Figure 2-5 : photo du compartiment parachute*

Le parachute est de forme ronde avec un rayon extérieur de 400mm et un rayon intérieur de 20mm. Il est retenu par 8 suspentes. La toile est de couleur rouge. Le système possède également un anneau anti-torche en impression 3D, et un émerillon de pêche pour empêcher le parachute de s'emmêler.

### 3 Electronique

#### 3.1 Carte Timer

##### 3.1.1 Description

Le timer a été réalisé avec un Raspberry Pi Pico 2.

L'électronique est alimentée par 2 piles 9V 6LR61 en parallèle (par mesure de sécurité pour éviter les problèmes de batteries). Un interrupteur à bascule placé à l'extérieur de la fusée permet d'allumer le système.

2 régulateurs de tensions sont utilisés

- Un régulateur 3,3V (STMicroelectronics LF33CV) afin d'alimenter la Raspberry
- Un régulateur 5V (STMicroelectronics L7805ABV) pour alimenter le servo-moteur, ainsi que divers capteurs

Le servo-moteur est un S0009 MG Analogique, avec pignons en métal. Il s'agit d'un servo utilisé en aéromodélisme, assez petit pour rentrer sous la coiffe, mais qui a su se montrer suffisamment robuste et puissant pour ouvrir la trappe lors des essais.

Le déclenchement du timer s'effectue grâce à une prise jack 5,5mm.

##### 3.1.2 Schéma et image

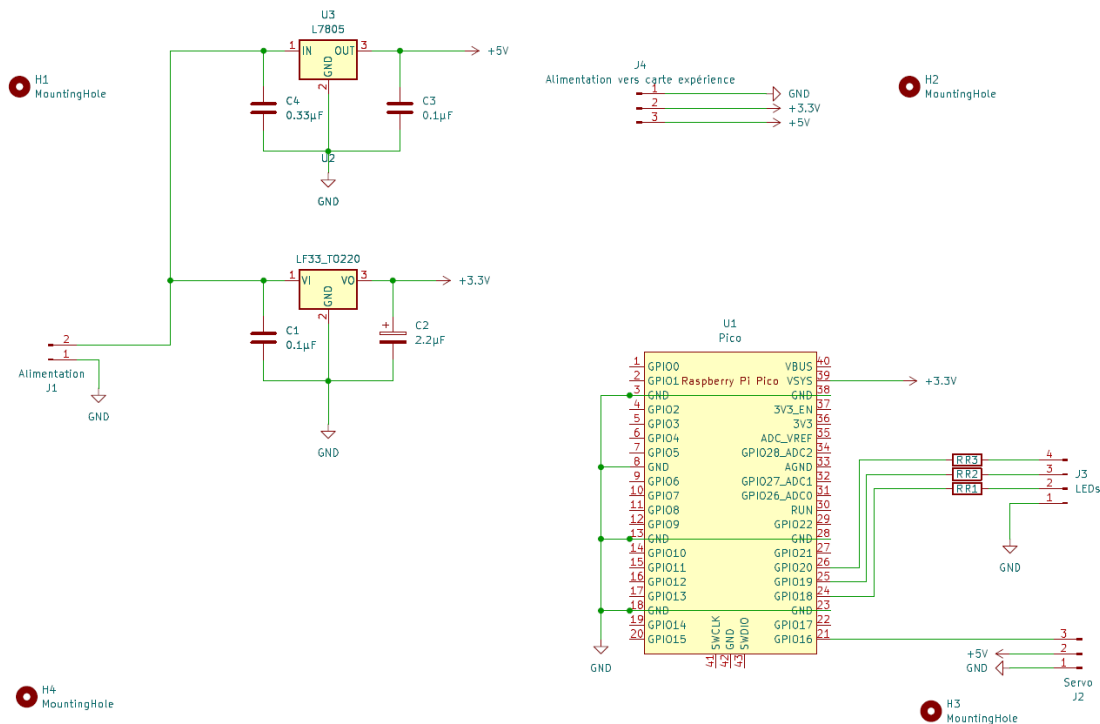


Figure 3-1 : Schéma électronique du timer

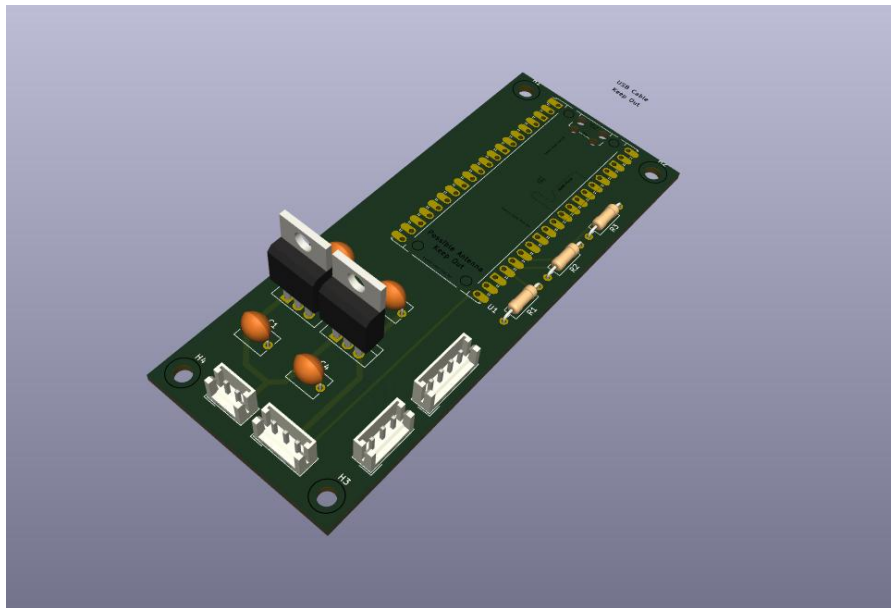


Figure 3-2 : vue 3D du timer

## 3.2 Carte Expérience

### 3.2.1 Description

La carte de l'expérience est assez simple : elle se compose de :

- Un MPU9250, il s'agit d'une centrale inertielle capable de mesurer l'accélération sur 3 axes, la vitesse de rotation sur 3 axes, le champ magnétique sur axes, la pression atmosphérique, et la température
- Une mémoire FRAM de 1Mbits pour le stockage de données
- Une Arduino micro pour contrôler le tout

Cette carte ne dispose pas de son propre système d'alimentation mais est alimentée depuis le timer.

Le soft dispose de 2 moyens pour détecter le décollage :

- Il regarde l'accélération de la centrale inertielle pour détecter l'accélération du décollage
- Ou il reçoit une information de la part du timer qui détecte le décollage grâce au jack

Lorsque le système détecte le décollage, il commence à enregistrer les données : il enregistre les données à partir de la seconde avant le décollage ( $t=-1$ ) jusqu'à 1 minute après le décollage ( $t=60$ ) à une fréquence de 10 points par seconde.

### 3.2.2 Schéma et image

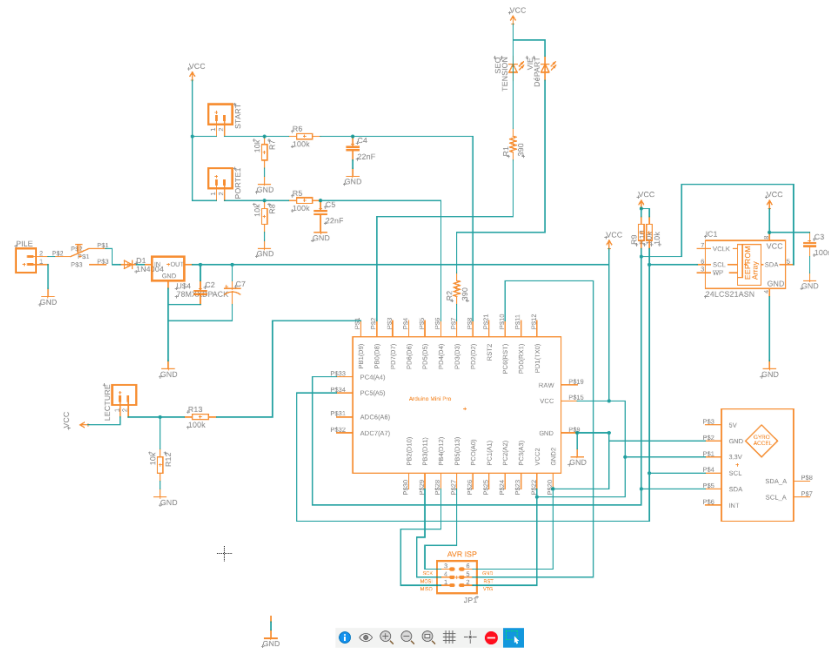


Figure 3-3 : schéma de la carte de l'expérience

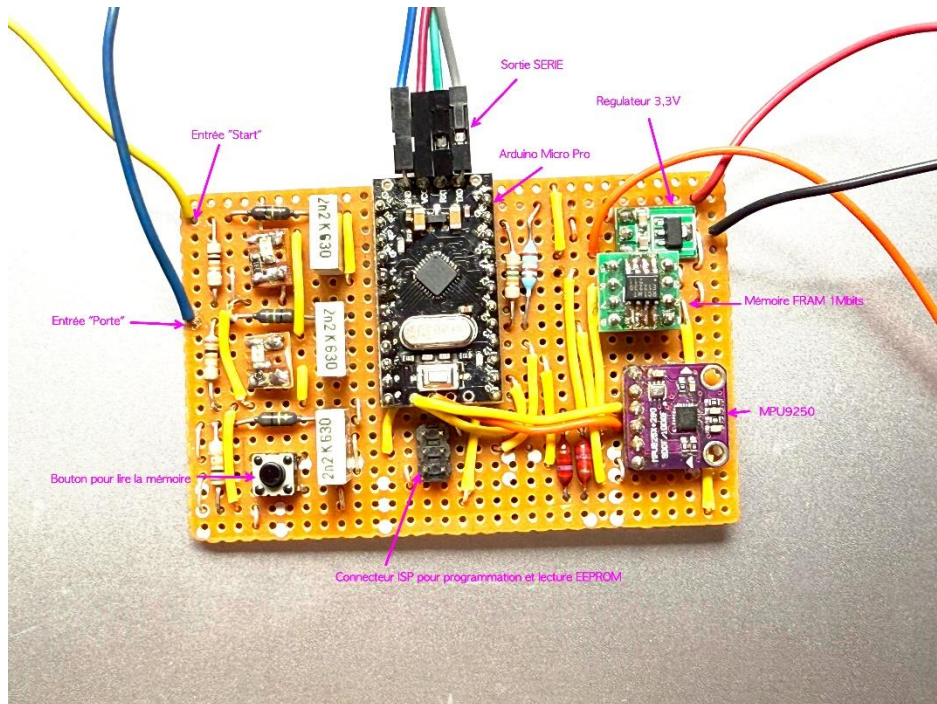
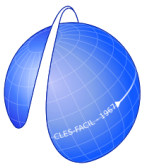


Figure 3-4 : photo de la carte de l'expérience



## 4 Déroulé du C'Space

### 4.1 Qualification

Les contrôles du C'Space ont révélé une erreur de dimensionnement de la fusée : la finesse mesurée à ce moment-là était de  $\frac{690}{70} = 9,9$  alors que le minimum requis était de 10 (il manquait en effet 1cm à la longueur de la fusée). La solution retenue pour résoudre le problème était de rajouter un segment de 5cm entre le compartiment propulseur, et celui de l'électronique. La fusée a pu être qualifiée sans problème à la suite de cette modification.

### 4.2 Le vol

La fusée a décollé depuis une rampe cage le mercredi 9 juillet 2025 à 11h45. Le ciel était bien dégagé, mais nous avons fait face à un vent de dos assez fort (entre 4 et 5 m/s).

Au décollage, la fusée a pris une trajectoire la faisant remonter le vent en direction du public. Ce changement de trajectoire est visible sur la Figure 4-1.



Figure 4-1 : photo prise lors du décollage (image Charles Pilon)

A l'apogée, la fusée a déployé son parachute comme prévu, sans perdre de pièce. On distingue sur la Figure 4-2 la fusée, le parachute rouge, et la trappe du parachute. La redescente a été lente (5 à 6 m/s). Le vent a emporté la fusée assez loin du point de décollage.

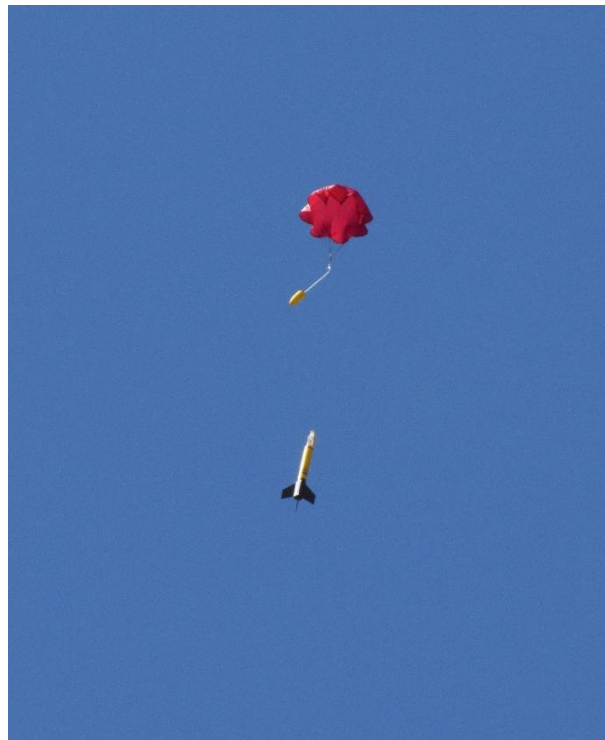


Figure 4-2 : déploiement du parachute à l'apogée (image C. Pouilly)

La fusée a été récupérée intact, avec seulement quelques rayures dû au frottement avec la rampe cage.

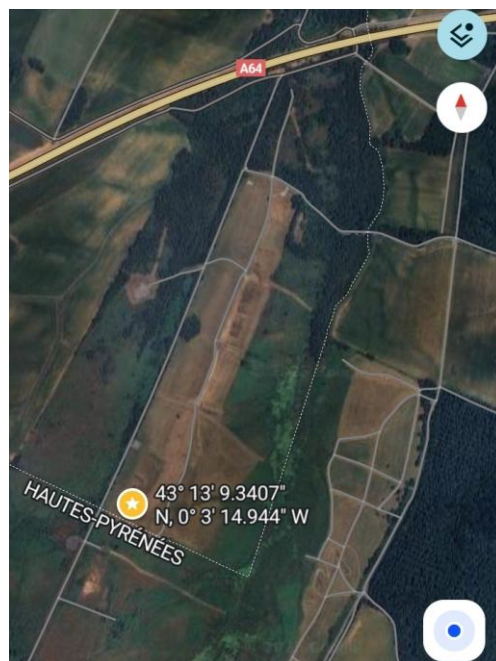
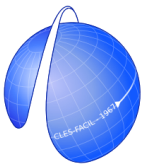


Figure 4-3 : Vue aérienne du site d'atterrissage (image google maps)



## 5 Résultat du vol

Lors de ce vol, les données suivantes ont été récupéré :

- Accélération (sur les 3 axes)
- Vitesse de rotation (sur les 3 axes)
- Le champ magnétique terrestre (sur les 3 axes)
- La température
- La pression atmosphérique

Par la suite, les données d'orientation, de vitesse, et de position de la fusée ont été retrouvé à l'aide d'un script python utilisant des calculs d'intégrale, et des quaternions.

La Figure 5-1 montre l'accélération absolue mesurée. On peut y voir plusieurs pics d'accélération :

T = 0 s : Décollage

T = 9 s : déploiement du parachute

T = 48 s : Atterrissage (on peut voir 2 pics dû au fait que la fusée a rebondie)

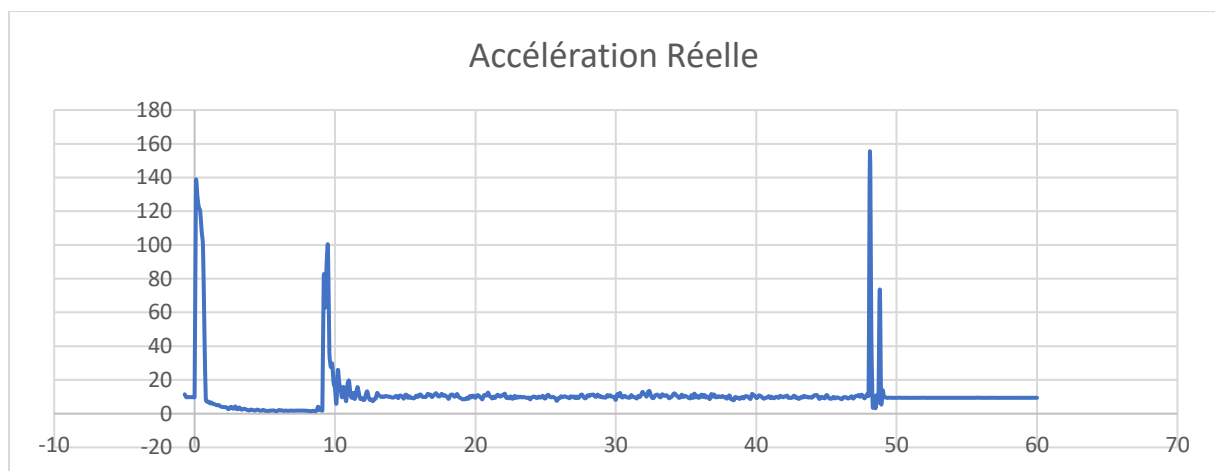


Figure 5-1 : Accélération réelle

Sur la Figure 5-2, on peut comparer l'accélération longitudinale mesurée par le capteur et l'accélération longitudinale théorique fournie par le stabtraj. La phase de propulsion (de t=0s à t=1s) semble assez réaliste, mais la suite diffère assez fortement, la décélération mesurée est bien plus faible que ce qui avait été estimé.

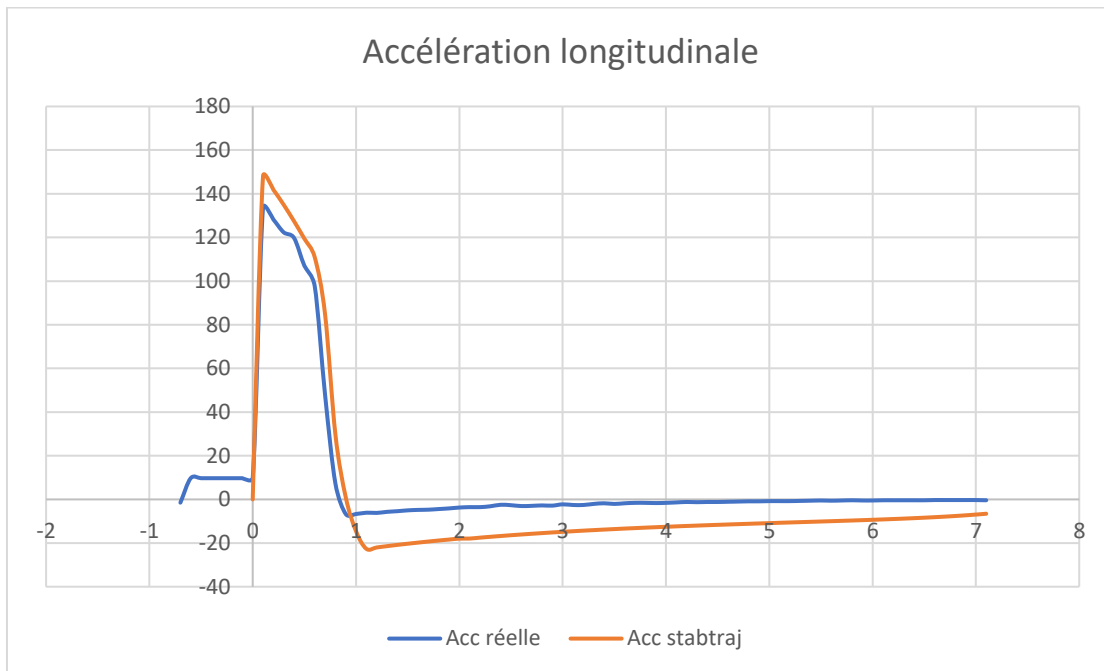


Figure 5-2 : Accélération longitudinale mesurée et théorique (stabtraj)

La Figure 5-3 montre :

- L'altitude prédite par le stabtraj
- L'altitude mesurer par le baromètre
- Et enfin l'altitude calculée à partir de l'accélération et de la vitesse angulaire de l'IMU

On constate d'abord que l'altitude donnée par le baromètre est erronée : cela s'explique probablement par l'absence de trou dans le fuselage permettant d'équilibrer la pression entre l'intérieur de la fusée et l'extérieur.

Ensuite, les données de l'IMU sont aussi fausses. L'erreur serait à chercher du côté de la fréquence d'échantillonnage trop basse, faussant les calculs d'orientation de la fusée, de vitesse, de position.

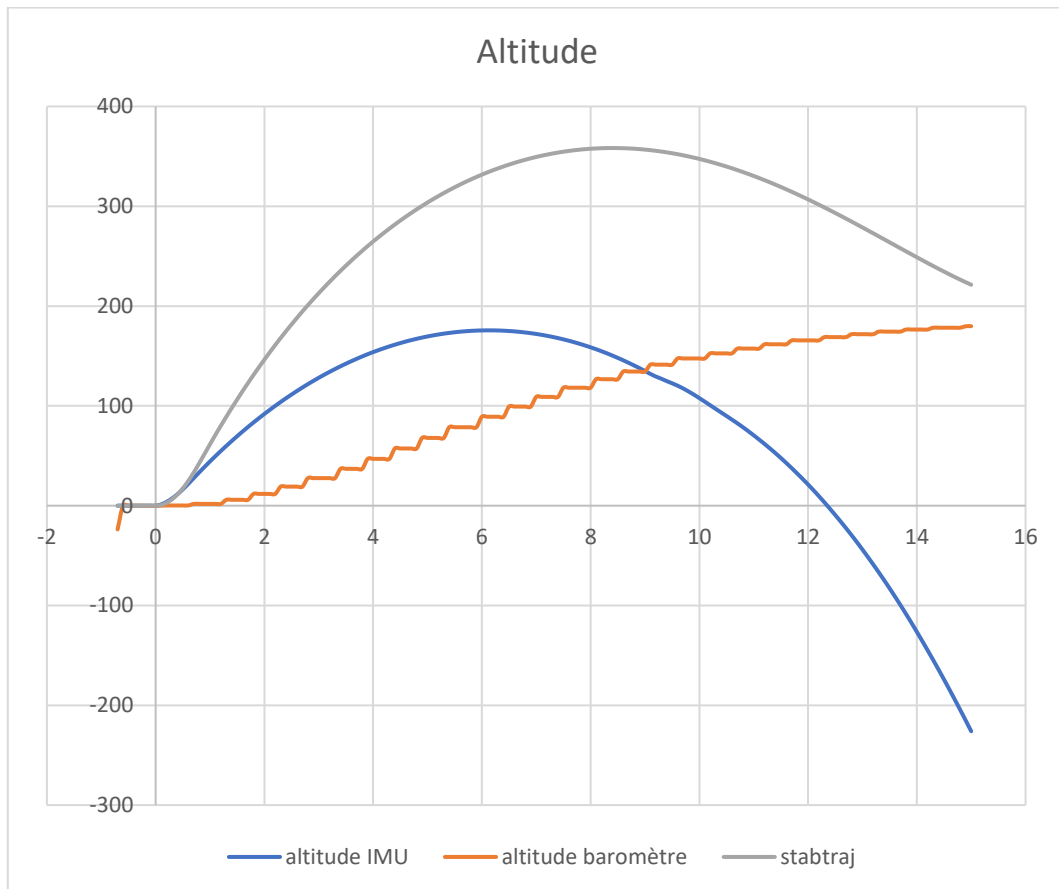
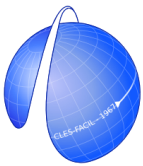
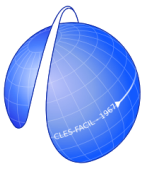
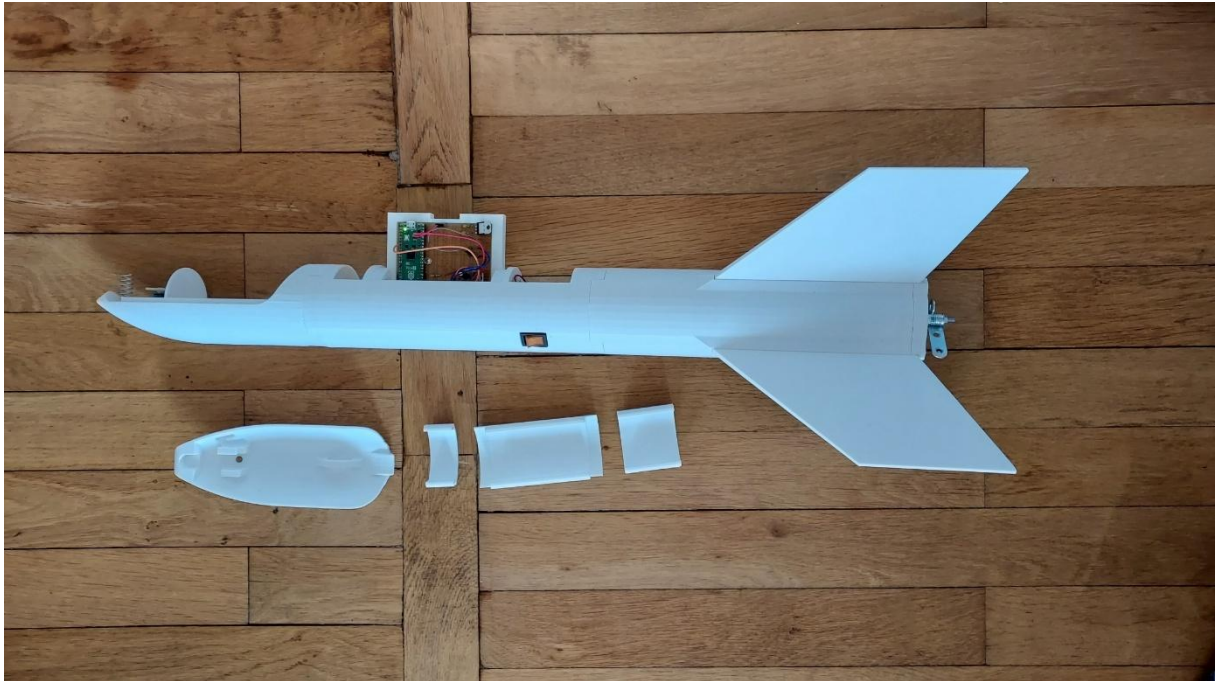


Figure 5-3 : Altitude de la fusée



## 6 Annexe

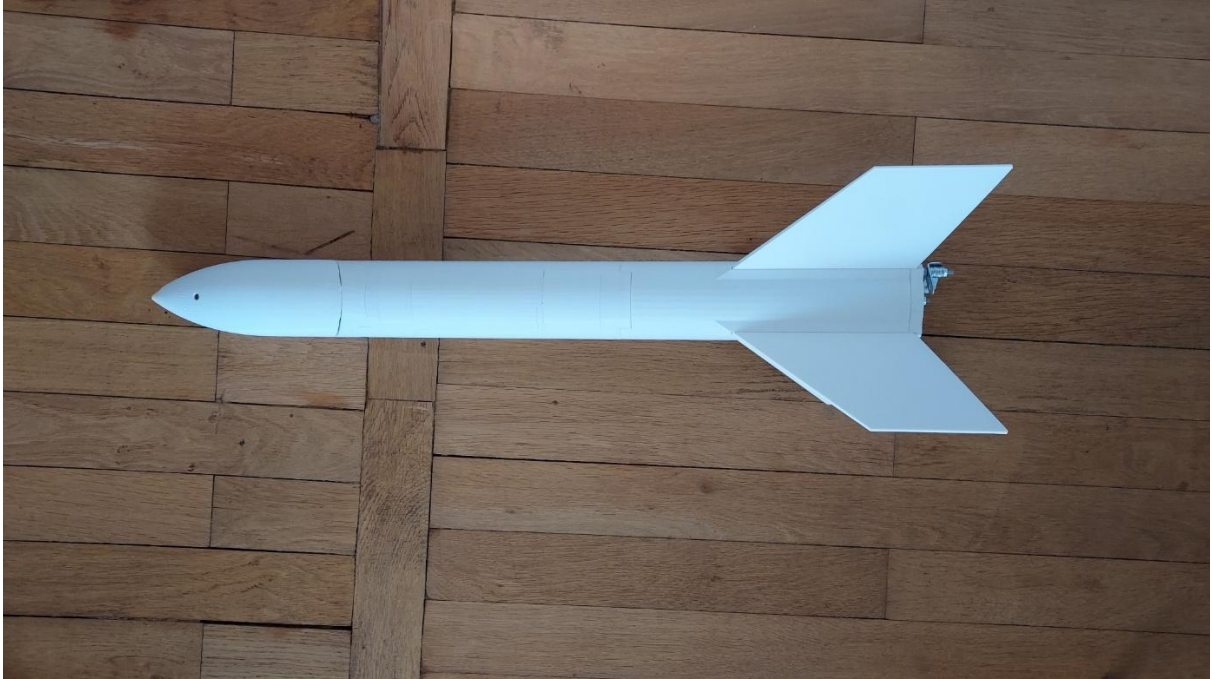
### 6.1 Photos de la fusée avant le C'Space



*Figure 6-1 : fusée vue de côté*



*Figure 6-2 : fusée vue de face, tous ouverts*



*Figure 6-3 : fusée vue de face, tous fermés*