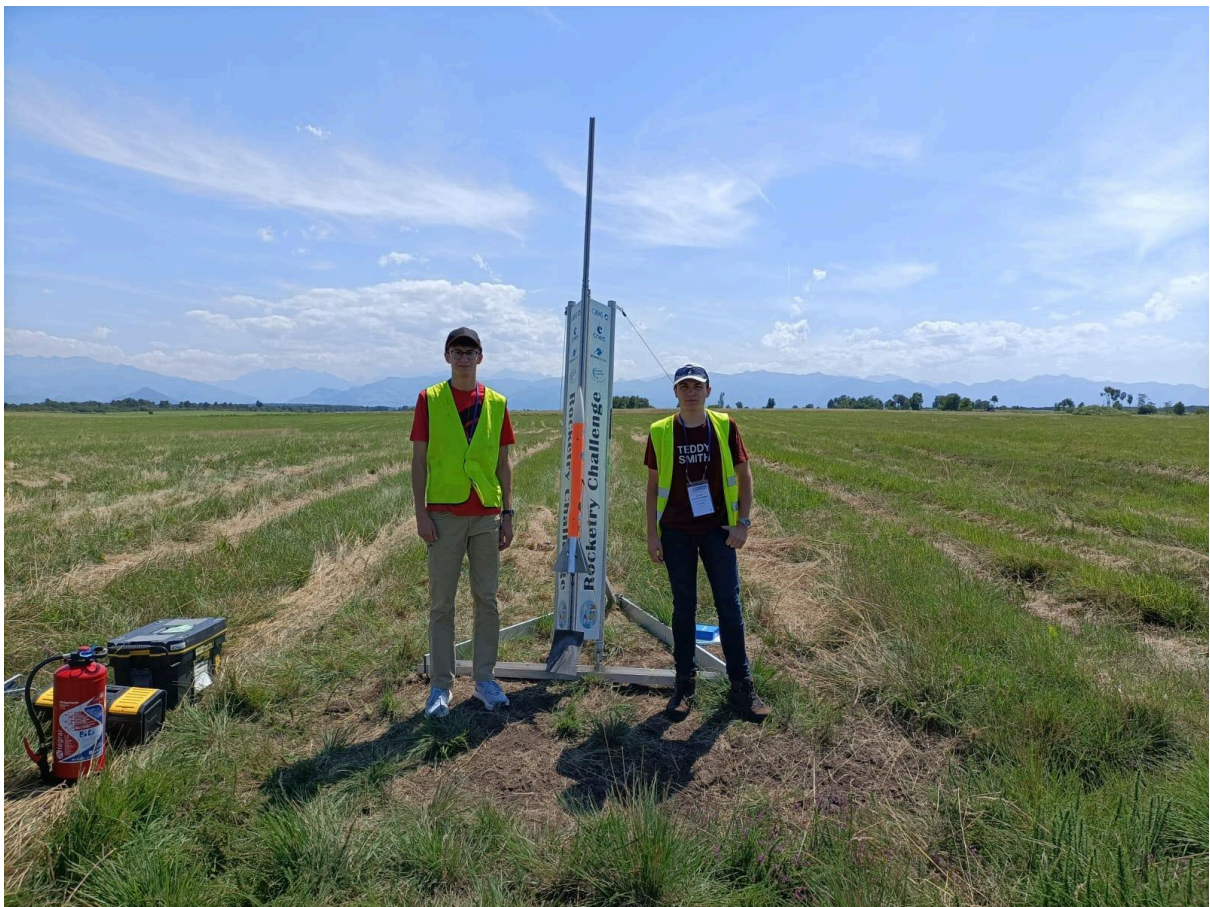


Projet StarFire Ultimate

BERARDI Matthieu ARNAUD—BEYSSERIAT Louis

Legendary Space Flight, 2023-2024

Le projet StarFire Ultimate a été imaginé comme étant l'accomplissement de 6 ans de construction de micros-fusées amateurs. Ce projet a pour but de tester les capacités de notre équipe à concevoir et à réaliser une fusée dans des proportions supérieures à celles que nous avons déjà construites.



1. Introduction

Le club Legendary Space Flight était au départ le nom que nous avons donné à nos projets de constructions de mini-fusées. Officialisé en 2023 lors de l'adhésion à la campagne du C'Space 2024, il ne dépend d'aucuns établissements scolaires mais nous sommes soutenus dans notre projet par notre professeur de Sciences de l'Ingénieur.

Notre club se compose de deux lycéens en Première Générale qui se répartissent les différentes tâches qui incombent au projet :

Louis ARNAUD-BEYSSERIAT :

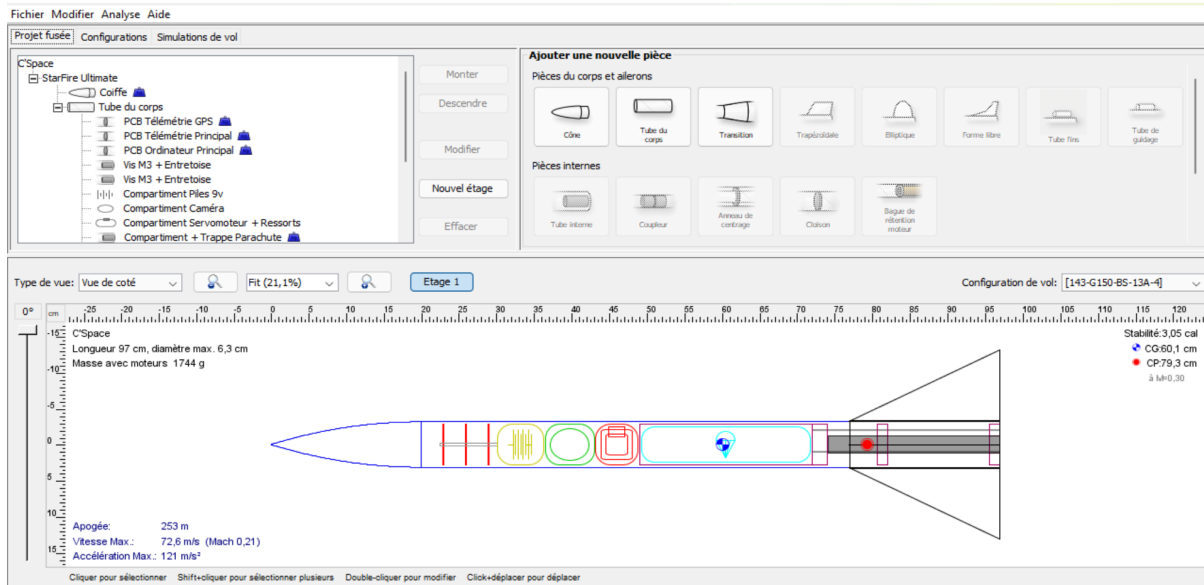
- Parachute
- Motorisation
- Caméra
- Ailerons
- Intégration
- Communication du projet

Matthieu BERARDI :

- Calculs et modélisations
- Ordinateur de bord
- Télémétrie d'expérience
- Programme
- Système de Récupération
- Alimentation

L'idée de la fusée n'est pas nouvelle puisque nous en construisons depuis plusieurs années. L'expérience a pour but de tester la capacité de la fusée à communiquer ses informations de vol en temps réel ainsi que de déclencher l'ouverture du parachute par détection de l'apogée.

La structure de la fusée repose sur une peau porteuse réalisée en PVC (de diamètre ext. 63mm et int. 57mm). Ce fuselage de 80cm est surplombé par la coiffe de forme ogivale réalisée en impression 3D.

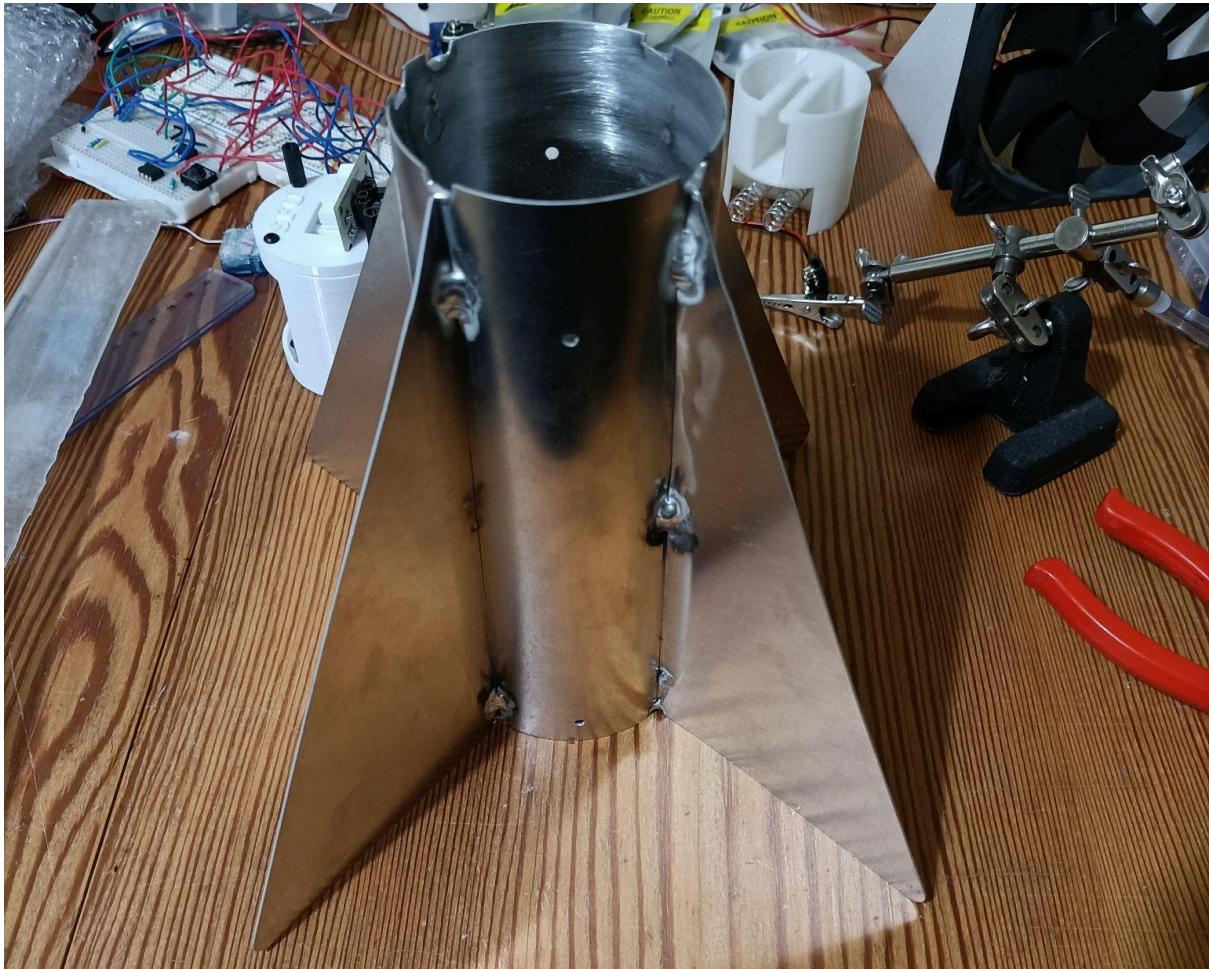


La fusée est composée des éléments suivants (dans le sens coiffe → ailerons) :

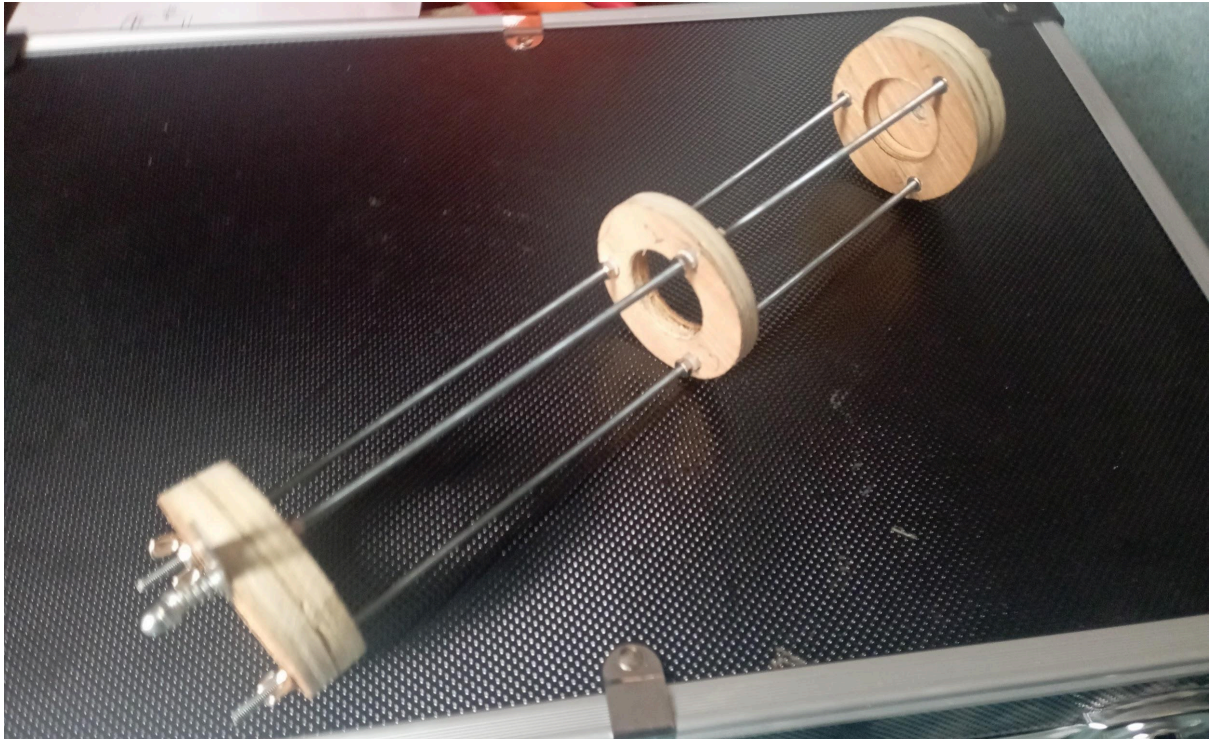
1. Coiffe en ABS;
2. Ordinateur de bord (description détaillé dans la partie le concernant);
3. Compartiment piles;
4. Compartiment caméra;
5. Compartiment servomoteur;
6. Compartiment parachute;
7. Anneaux de centrage moteur.

Avec l'objectif de faciliter l'intégration des différents composants de la fusée, nous avons pris la décision de réaliser un compartiment en ABS ou en PLA pour chacun d'entre eux.

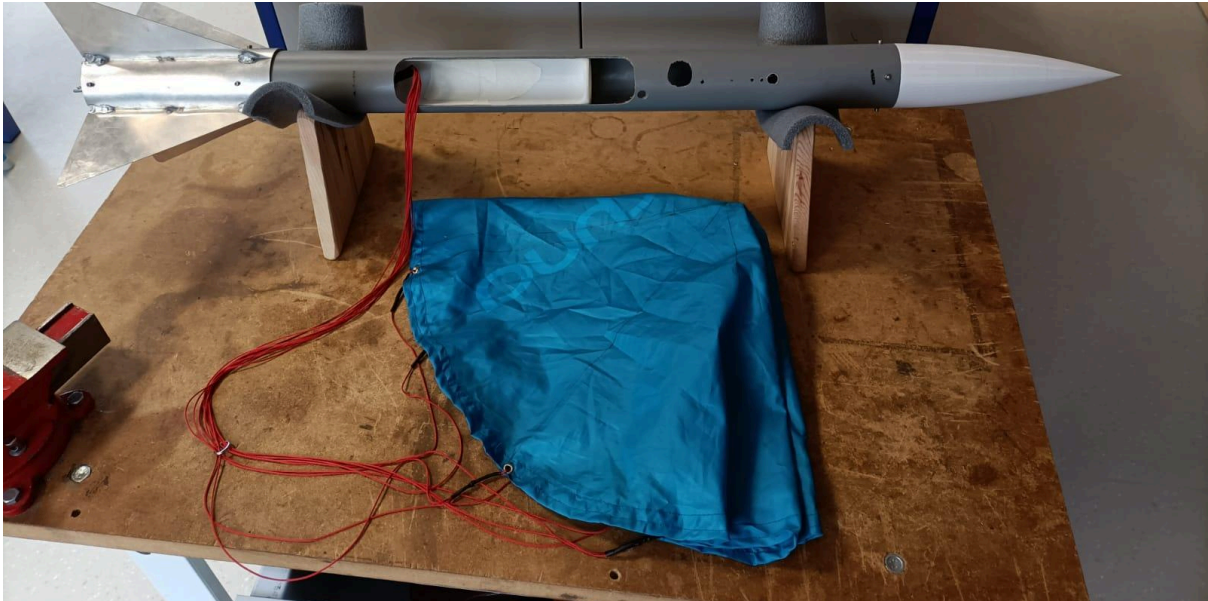
Les ailerons sont réalisés en aluminium de 2mm et sont montés sur la fusée à l'aide de 8 boulons M3. Les ailerons sont de formes classiques (triangulaires) sans saumons.



Le support de centrage moteur est réalisé avec 5 disques en contreplaqué de 7mm qui sont maintenues entre eux par des tiges filetées de 3mm. Ces tiges filetées permettent d'assurer la stabilité et l'alignement du moteur dans l'axe du fuselage de la fusée.



Le système de récupération de la fusée repose sur un parachute de forme circulaire d'un diamètre de ~70cm. Ce parachute se déploie à l'aide d'une trappe dans le fuselage qui est elle-même actionnée par un servomoteur à l'intérieur de la fusée.

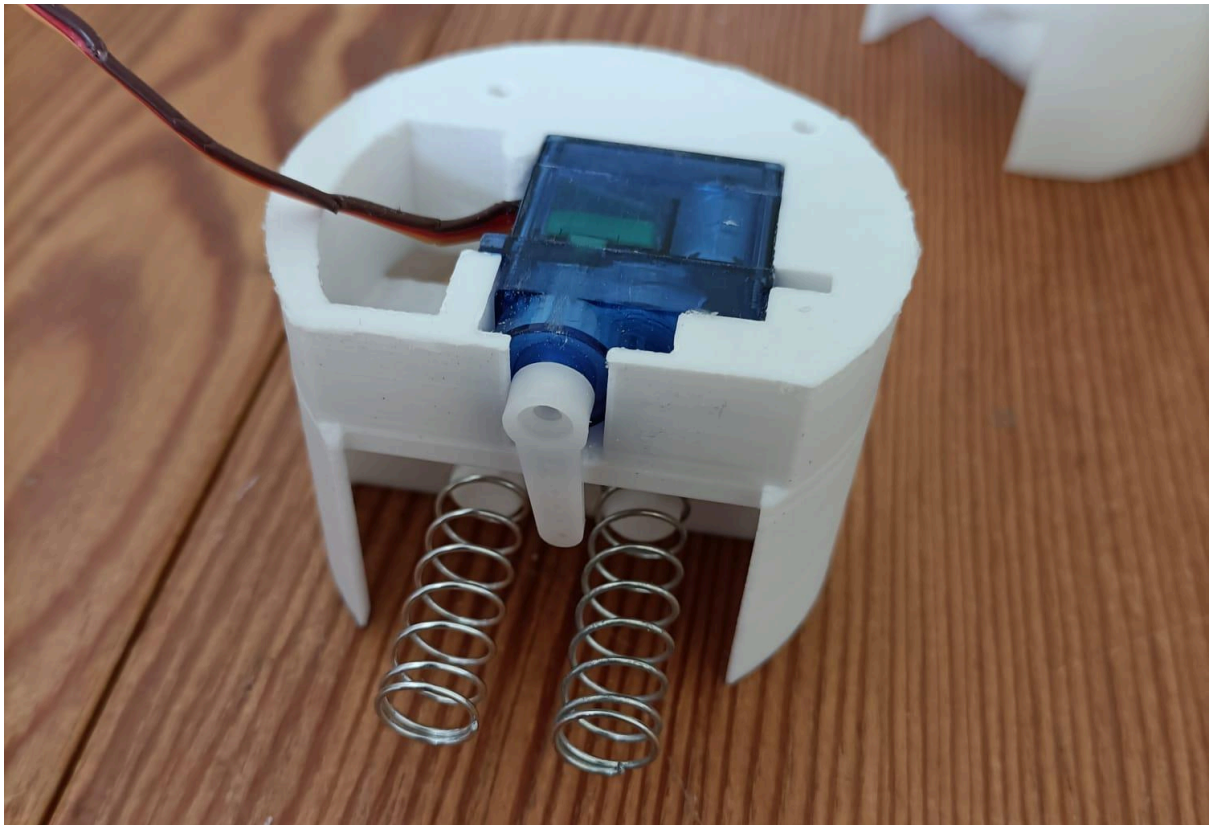


Ce parachute est réalisé en toile de tente qui a été découpée en cercle avec les contours rabattus et cousus deux fois pour la bordure extérieure et une fois seulement pour la bordure intérieure. Les anneaux de fixations des suspentes secondaires sur le parachute sont renforcées par des œillets métalliques afin d'éviter le déchirement lors du déploiement.

Les suspentes secondaires sont réalisées en nylon synthétiques tandis que la principale est de la paracorde. Un anneau anti-torche en ABS est également présent sur les suspentes secondaires. Les suspentes sont fixées sur l'émérillon au moyen d'anneaux brisés de porte-clés (deux par fixations). Malgré les doutes que nous avons pu avoir sur la résistance des ces derniers, ils se sont révélés efficaces pour une fusée de cette gamme de poids.

La suspentes principale est fixée grâce à deux anneaux brisés sur une tige filetée M4 passant de part-en-part de la fusée juste en dessous du compartiment parachute. Cette tige est boulonnée par deux écrous de part-et-d'autre du fuselage, assurant une fixation du parachute à même le fuselage, et évitant l'arrachage des compartiments lors du déploiement de celui-ci.

Le compartiment servomoteur a pour objectif la retenue et le déclenchement de l'éjection de la trappe du parachute. La retenue de cette trappe est assurée par l'insertion du bras du servomoteur MG90 dans une gorge prévue à cet effet dans la trappe du parachute. Lors de l'ouverture du bras du servo, deux ressorts viennent aider au largage de la trappe.



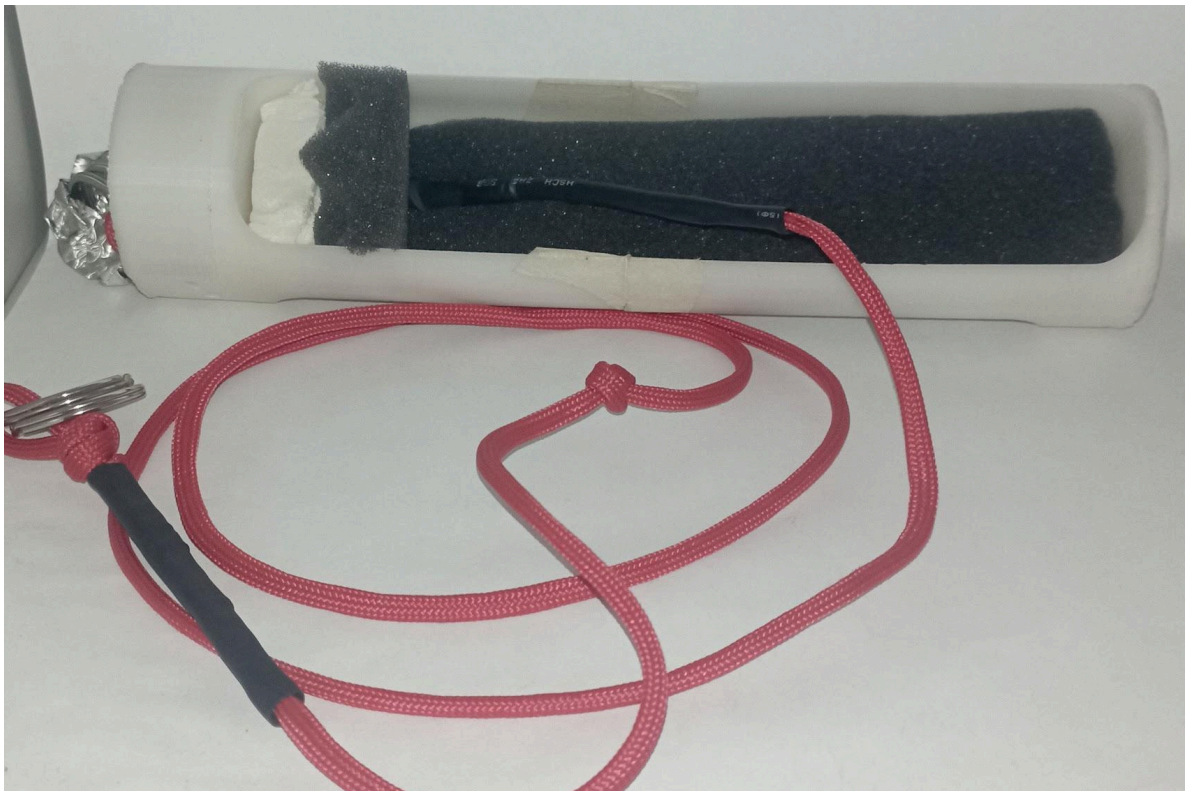
Le compartiment caméra sert à stabiliser la caméra à l'intérieur de la fusée, il empêche les mouvements intempestifs de celle-ci et il nous a permis de réaliser la captation de la vidéo du lancement de SFU. La caméra embarquée filme en 1080p afin d'économiser sa batterie.



Le compartiment pile abrite les deux piles 9V nécessaires à l'électronique embarquée, soit une pour l'ordinateur de vol et une pour l'expérience.



Le compartiment le plus important de la fusée est le compartiment parachute. En effet, celui-ci abrite le parachute de 70cm de SFU. Sur cette image, on peut voir le compartiment parachute en PLA, l'élément en polystyrène qui avait pour but d'empêcher l'affaissement du parachute au fond de son compartiment, les deux morceaux de mousses acoustiques qui ont facilité son dégagement ainsi que la suspente principale du parachute.



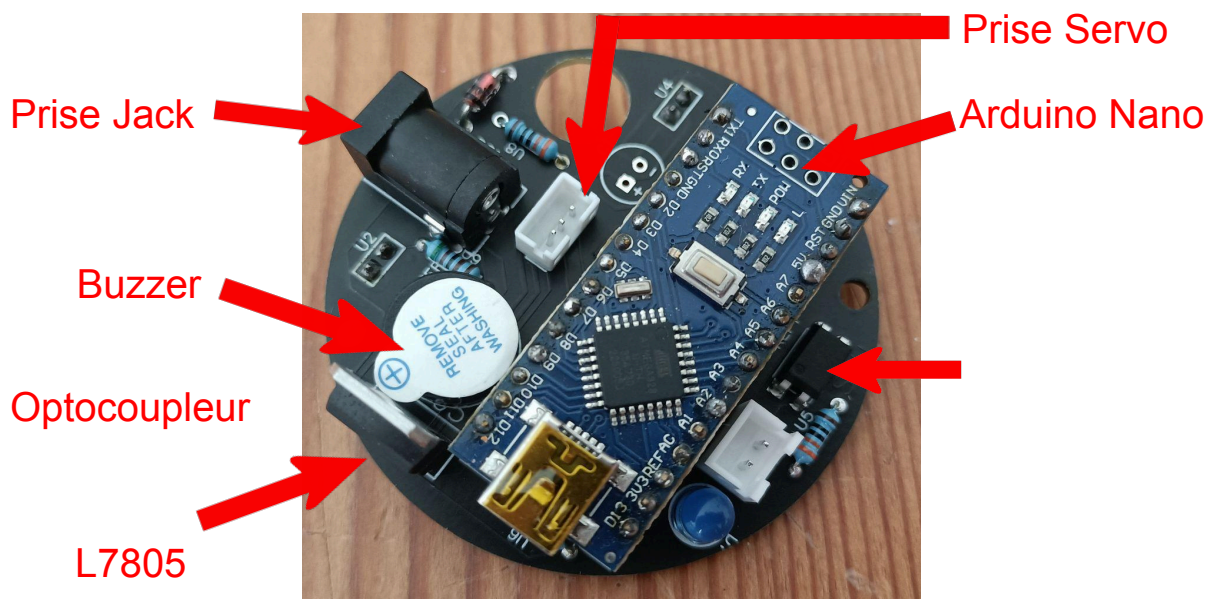
3. Ordinateur de Bord :

L'ordinateur de Bord a pour objectif d'ordonner l'ouverture du parachute de la fusée en actionnant un servomoteur. Pour faciliter la conception et la programmation de l'électronique, nous avons choisi d'utiliser une arduino nano comme microcontrôleur.

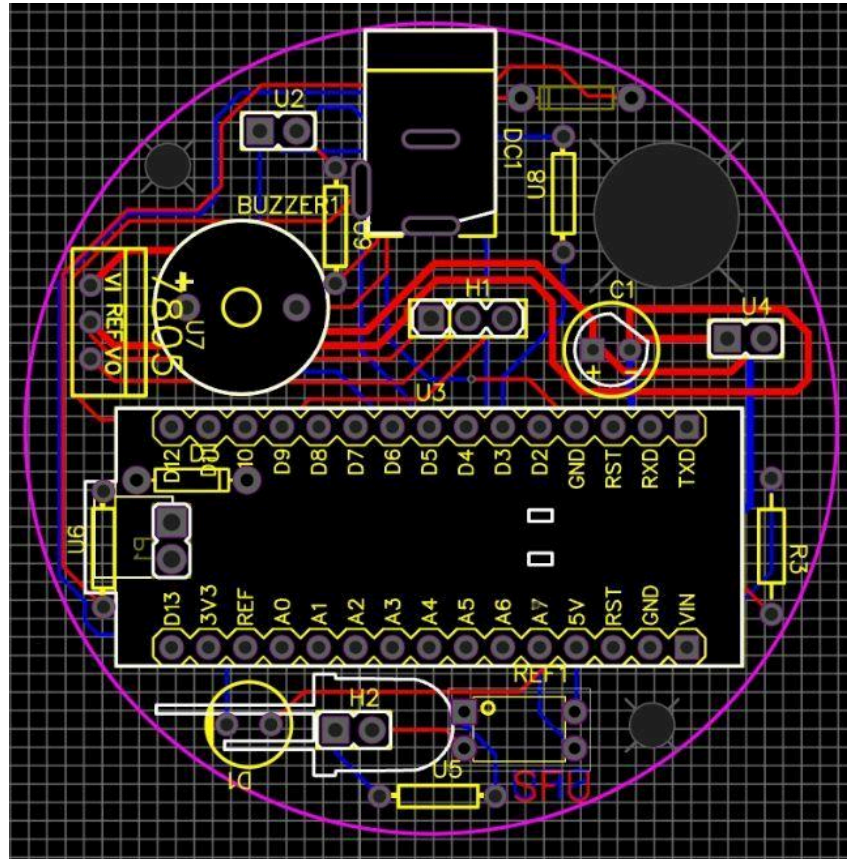
Pour détecter le lancement, la solution retenue est l'utilisation d'une prise jack qui s'arrache lors du décollage. A partir de l'arrachage, l'ordinateur lance un minuteur de 8,2 secondes au bout duquel il ordonne l'éjection du parachute en faisant tourner le servomoteur. Nous avons choisi de réaliser une expérience dans notre mini fusée qui ordonne l'éjection du parachute en mesurant l'altitude en temps réel de Star Fire Ultimate. Cette expérience doit être séparée électriquement de l'ordinateur principale et c'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser un optocoupleur pour faire communiquer les deux ordinateurs. Nous avons donc établi un fenêtrage temporel entre 6,5 et 8,2 secondes au cours duquel l'ordinateur de bord peut éjecter le parachute s'il reçoit un ordre de l'expérience. S'il ne reçoit pas d'ordre, le parachute s'ouvre automatiquement à 8,2 secondes comme dit précédemment.

Pour connaître l'état de l'ordinateur en temps réel sur la zone de lancement, nous avons choisi d'utiliser un buzzer et une LED. La LED nous indique si le circuit est bien alimenté et le buzzer nous permet de savoir si tout fonctionne correctement avec un rythme de bip prédéfini.

Enfin, pour éviter tout risques de sous tension et que l'arduino redémarre, nous avons choisi d'alimenter le servomoteur par une source externe et non par l'arduino. Ce dernier est donc alimenté par la pile 9v qui alimente également l'arduino et le courant est abaissé à 5v par un module L7805 pour ne pas endommager le servomoteur.



Nous avons réalisé des PCB pour améliorer la précision et la fiabilité de nos ordinateurs. Nous les avons designé sur le logiciel EasyEDA et commandés sur le site JLC PCB.



Design du PCB de l'ordinateur principal.

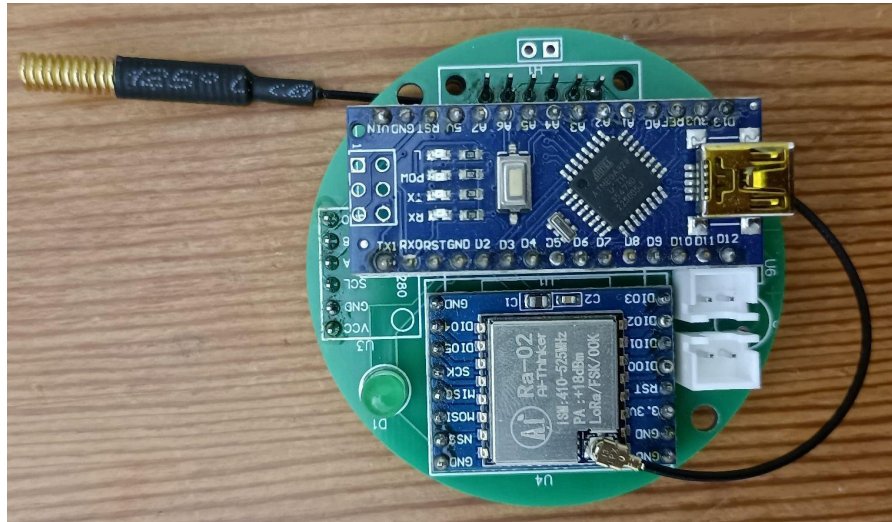
4. Expérience :

L'expérience embarquée dans StarFire Ultimate a pour but de mesurer l'altitude, détecter l'apogée, enregistrer les données du vol et transmettre toutes les données à l'ordinateur en tente club par télémétrie.

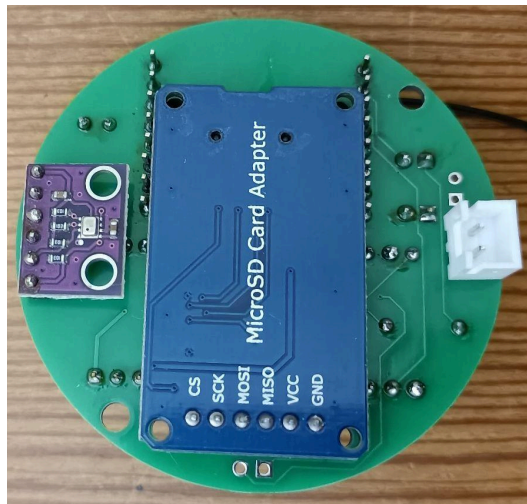
Pour détecter l'altitude en temps réel, nous avons choisi le capteur BMP 280 car il est précis, pas cher et facile à utiliser car il utilise le bus de communication I2C. Mais finalement, ce capteur a dysfonctionné durant le vol à cause de l'importante température à l'intérieur de la fusée. Pour un prochain ordinateur, nous opterons donc sûrement pour des capteurs plus cher mais plus résistants à la chaleur comme un DPS310 ou un BNO055 par exemple.

Ensuite, pour transmettre les données de vol à l'ordinateur, nous avons choisi un module télémétrie LoRa SX1278 en 433 MHz d'une portée de 5 km environ. Ce

module communique avec l'arduino à l'aide d'un bus SPI. L'antenne omnidirectionnelle se situe dans la coiffe pour être protégé et pour faciliter le transfert des données car c'est l'endroit où les parois sont les plus fines de la fusée.



Enfin, les données de vols sont également stockées dans une carte SD. Pour



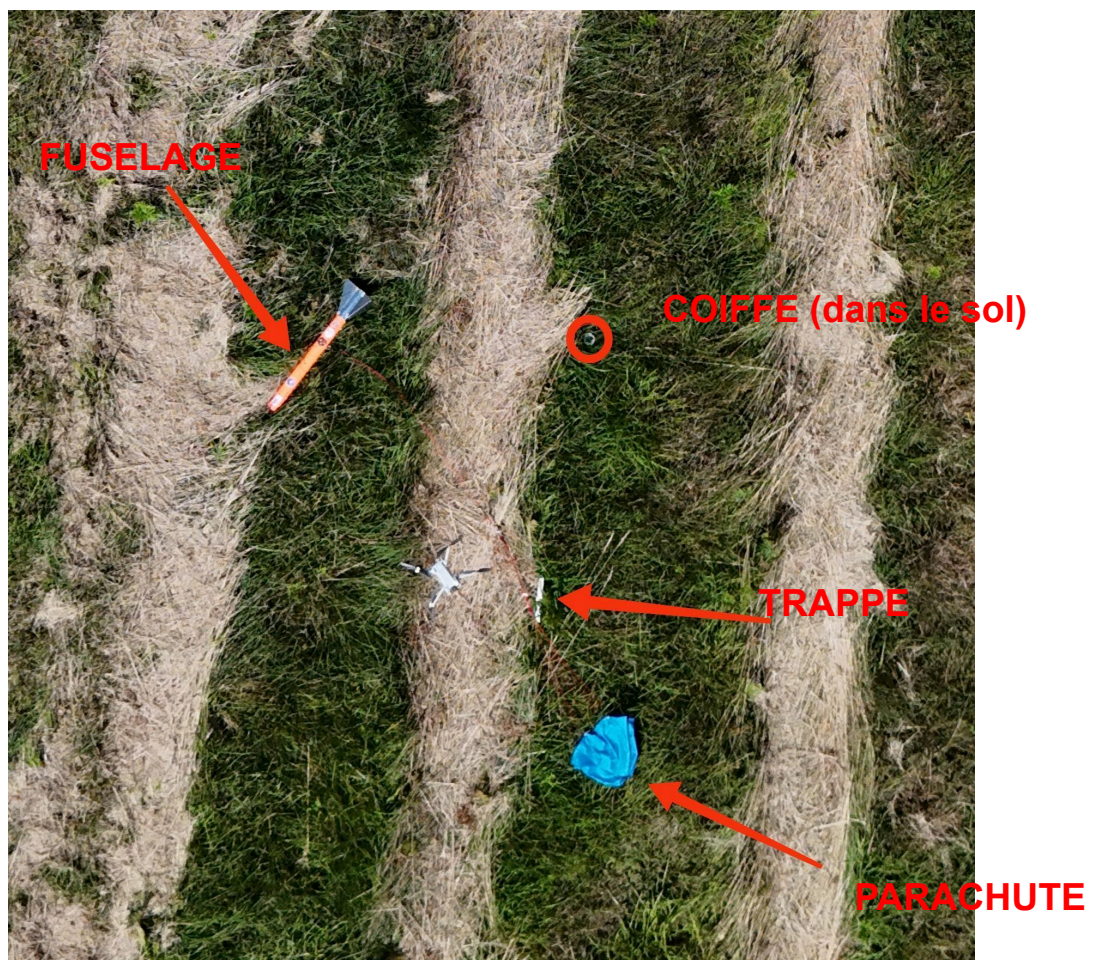
cela nous avons choisi un module SPI et une carte SD de 8 Go qui est largement suffisante pour stocker un fichier texte. Dans le programme, nous avons choisi d'enregistrer le fichier texte des données à chaque itération. Cela augmente le temps des itérations et la taille du programme mais permet de limiter les risques de perdre ou corrompre le fichier.

Nous avons prévu d'intégrer un module GPS NEO-6M pour connaître la position de la fusée mais nous l'avons finalement pas utilisé car l'antenne avait du

mal à capter les satellites en dessous de la coiffe et le GPS se bloque automatiquement à plus de 16G d'accélération.

5. Déroulement du vol :

Le vol de StarFire Ultimate a eu lieu le premier jour des vols du C'Space 2024. Ce vol a eu lieu à 15h56 le 8 Juillet 2024. La météo était plutôt favorable au vol de la fusée, malgré une chaleur assez importante qui a eu un impact relatif sur la tenue du vol. Le vol s'est déroulé au niveau de la trajectoire comme nous l'avions prévu. Le déploiement du parachute cependant, s'est fait assez tardivement lors de la redescente, à la fin du fenêtrage temporel. La fusée étant redescendue sous le parachute, nous l'avons donc trouvé presque intacte au sol. La seule casse que nous avons eu à déplorer est celle de la fixation de la coiffe sur le fuselage. La fusée est tombée nez en avant, et l'impression 3D a cassé dans le sens des couches.



6. Résultats

La chaleur ayant malheureusement fait bugger notre capteur et notre système de télémétrie, nous n'avons pu récupérer des données exploitables. Les seules informations que la télémétrie nous a transmises sont soit fausses, soit invraisemblables. Lors de la lecture de la carte SD, nous nous sommes rendu compte que le fichier texte des données de vol était corrompu et impossible à lire. Nous supposons que cela est dû à la forte chaleur dans la fusée ou au choc lors de l'atterrissage. En effet, la carte SD était de très bas de gamme et donc plus sensible et fragile.

Nous avons pu néanmoins tirer des images de la caméra embarquée de la fusée. Ces images nous permettent de visualiser le vol et le déploiement du parachute. Nous nous sommes rendu compte que la fusée ne tournait pas énormément sous celui-ci. La vidéo nous a aussi permis de comprendre la façon dont la coiffe s'était cassée à l'atterrissage.

7. Conclusion

Pour conclure, nous considérons que ce premier projet a été pour nous une franche réussite, et ce malgré les ratés qu'a eu notre expérience. Les points fonctionnels satisfaisants que nous allons retenir en vue d'une prochaine participation sont, l'ordinateur de bord qui sera conçu de la même façon (disques maintenues par des entretoises), l'intégration du centrage moteur avec des anneaux percés maintenus par des tiges filetées. Ce projet nous a apporté énormément de choses, tant sur le plan technique (modélisation 3D, électronique) que sur celui de la gestion (respect des deadlines, organisation). Ce projet a également été pour nous lycéens, le premier vrai projet que nous avons eu à réaliser, et nous a de ce fait montré ce à quoi nous pourrions nous attendre dans nos études futures. Pour l'année prochaine, notre objectif serait d'avoir une retombée sous parachute la plus stable avec l'atterrissage le plus doux possible, pour avoir une fusée réutilisable immédiatement. Nous allons également poursuivre l'amélioration du système d'intégration des composants dans la fusée (système qui s'est avéré extrêmement pratique), en réfléchissant notamment à l'utilisation de tiges filetées et de compartiments aérés pour gagner en légèreté..

Legendary Space Flight Rapport de Projet SFU

Nous tenions tout spécialement à remercier notre professeur de SI, l'entreprise SOTIS Eoliance, et le Groupement de Gendarmerie du Rhône pour l'aide et le soutien qu'ils ont apporté au projet