

*Esteban Ayoub
Charlize Caron
Raphael Dubois*

*Yanis Benkirane
Tom Berthelot
Marc Burdzelian*

BARBENHEIMER

Barbenheimer est un projet de mini-fusée réalisé par cinq étudiants de l'ESTACA en 2e année. Il s'agissait d'une première pour tous les membres du groupe. Le projet a débuté en octobre et s'est finalement achevé lors du C'Space 2024 par un vol nominal. Nous étions accompagnés d'un référent en 3e année : Marc Burdzelian. Nous nous tournions vers lui en cas d'interrogation.

Nous allons par la suite présenter la chronologie du projet tout au long de l'année et apporter quelques détails concernant le fonctionnement de la fusée.



Remerciements

Nous voulions remercier tous les bénévoles Planètes sciences pour le temps accordé, l'accompagnement et les conseils donnés, tout au long de l'année et lors du C'Space.

Nous remercions également le CNES de permettre un tel événement et notamment pour l'organisation du C'Space.

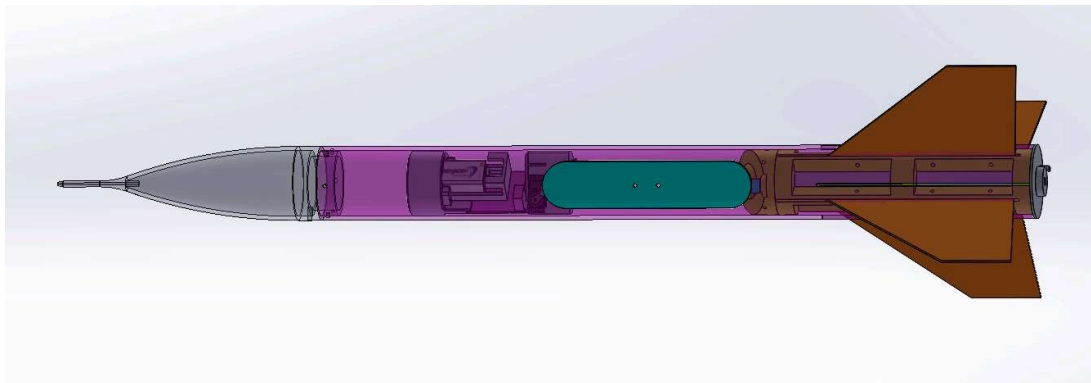
Nous remercions l'ESTACA et particulièrement l'ESO (Estaca Space Odyssey) qui nous a permis de participer au C'Space en nous fournissant des connaissances mais aussi du matériel et des infrastructures comme le Fablab ou encore la soufflerie.



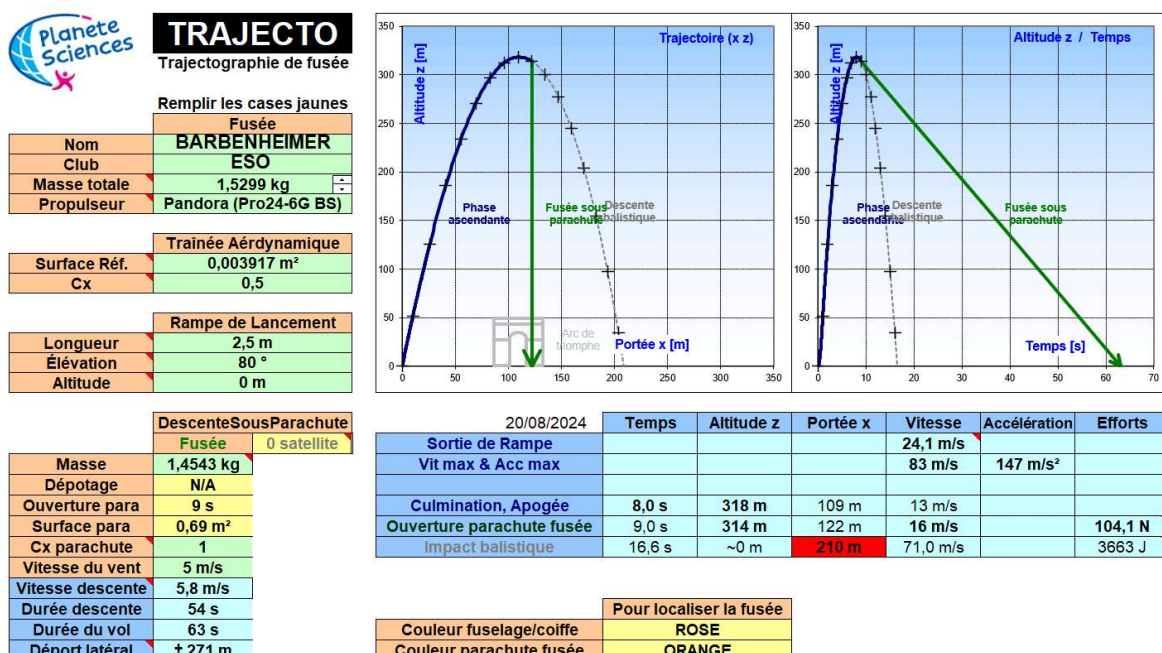
Déroulement du projet

a. La Conception

Initialement, nous nous sommes réunis pour discuter des solutions techniques concernant l'éjection de la trappe, la transmission de la poussée ou encore le maintien des ailerons par exemple. Nous nous sommes mis d'accord sur l'expérience à réaliser à savoir l'intégration d'un tube de pitot.



Nous avons développé l'essentiel de la modélisation 3D jusqu'à février de manière à pouvoir approcher la réalisation réelle plus facilement. Durant cette période, nous avons également réalisé la découpe de la peau. Nous avons imprimé plusieurs pièces comme des bagues de support, des gabarits (pour percer plus précisément la peau) ou encore des bagues "test" afin de déterminer quel diamètre devront avoir par la suite les bagues afin qu'elles coulissent convenablement. Le StabTraj a été régulièrement ajusté en fonction des masses et dimensions pour avoir la meilleure stabilité possible et viser les meilleures performances.

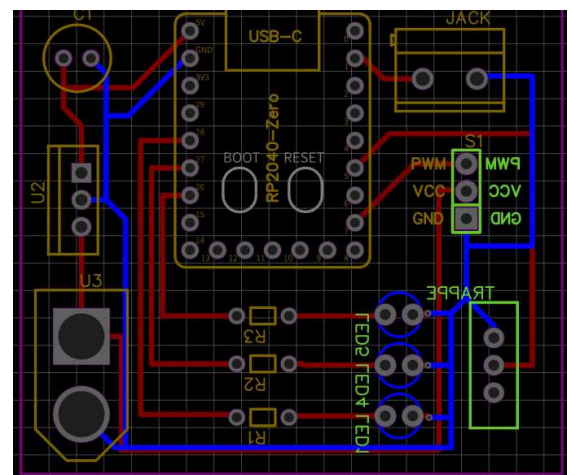
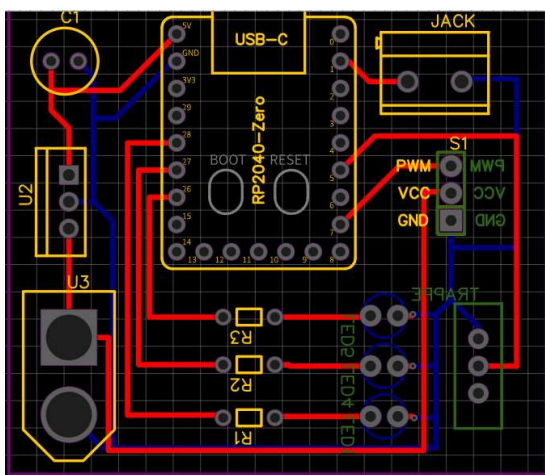


b. La Réalisation

De février à mai, l'équipe s'est concentrée sur la réalisation. La conception sur Solidworks approchant la finalisation, nous pouvions commencer à assembler les premiers morceaux de la mini fusée. Il a fallu s'assurer des dimensions des ailerons, du parachute, de la trappe, etc avant de procéder aux découpes précises. Ces paramètres dépendent en partie de la masse qui ne pouvait être connue à l'avance avec grande précision. En cas d'écart entre le théorique et le réel à l'approche de la date butoire, nous pouvions toujours lester la fusée afin d'avoir une masse adéquate (ce qui n'a pas été nécessaire).

Le parachute a été découpé puis cousu et consolidé tout en respectant le cahier des charges. Celui-ci est relié à la fusée par une corde attachée à un cylindre en aluminium qui se situe au même niveau que le centre de gravité (permettant à la fusée de se poser horizontalement).

Pour ce qui est de la minuterie, celle-ci est assurée par un programme simple s'exécutant sur raspberry. Nous nous sommes tout d'abord munis des composants principaux (leds, fils dupont, RP2040-Zero, interrupteur, servomoteur) afin de réaliser un premier circuit sur breadboard et tester une première version du code via un ordinateur. Une fois le code fonctionnel, adéquat, testé et vérifié par d'autres membres, nous avons réfléchi à une manière d'intégrer le circuit dans la fusée. Nous avons opté pour la création d'une PCB faite sur mesure que nous avons fixée au-dessus de l'emplacement trappe-parachute. Nous avons découvert le logiciel Easy-EDA et avons réalisé notre PCB de manière à pouvoir y intégrer une pile pour alimenter le circuit. Nous nous retrouvons donc avec un circuit comprenant une pile, un régulateur 5V, un compresseur, trois résistances, trois leds, un servomoteur, un interrupteur, une prise femelle jack et une carte raspberry.



Lorsque l'on branche la pile, nous pouvons ouvrir et fermer la trappe (un servomoteur plaçant ou retirant une goupille dans la trappe, elle-même reposant sur des ressorts en compression). Dès lors que l'on branche une prise jack à son emplacement, le servomoteur se place en position fermée par sécurité et l'interrupteur perd sa fonction d'ouverture, une led clignotante s'allume. Lorsque le jack est débranché, le compteur de la minuterie commence, la led devient statique, une seconde led s'allume jusqu'à l'apogée. A 8s de vol (voir stabtraj), le servomoteur libère la trappe ainsi que le parachute, toutes les leds s'allument tandis que la fusée entame sa descente.



D'autre part, pour la réalisation de l'expérience, nous avons opté pour un circuit indépendant de la minuterie. Sur un petite breadboard, nous avons connecté une Arduino-Nano, un capteur manométrique afin de capter la pression dynamique de l'air à l'arrivée du tube de pitot (situé dans l'ogive), ainsi qu'un module de carte micro SD. Nous alimentons ce circuit à l'aide d'une autre pile via un interrupteur accessible de l'extérieur. Avant le décollage, lors de l'installation en piste, nous n'avons qu'à allumer l'interrupteur pour que le système écrive les valeurs de pressions captées, les vitesses en km/h et en m/s, ainsi que la température au capteur manométrique. Cette solution compacte se trouvait dans l'ogive, fixée par de la mousse. Faire un circuit d'expérience complètement isolé de la minuterie permet de s'assurer du bon fonctionnement de la partie essentielle, la minuterie. En effet, de cette manière, le bon fonctionnement de l'expérience n'influe en rien le déploiement du parachute.

Pour vérifier la précision du capteur, nous avons profité des installations de notre école et avons essayé notre tube de pitot en soufflerie. Nous avons pu rassembler de nombreuses mesures, nous les avons analysées et avons ajouté un coefficient directement dans le code afin d'avoir les mesures les plus exactes possibles le jour J.



c. L'Assemblage

Il s'agit de la partie la plus déterminante et contraignante. Le temps étant limité, il faut faire le moins d'erreurs possibles. On ne pouvait plus se permettre de commander tout ce que l'on voulait étant donné que les pièces n'arriveraient pas avant le C'Space. Il fallait aussi bien positionner les inserts dans les bagues pour ne pas imprimer plusieurs fois les bagues inutilement et racheter d'autres inserts.

Barbenheimer est une mini-fusée étudiante composée de quatre ailerons en aluminium, d'une peau en PVC, d'une ogive modélisée en 3D dotée d'un tube pitot en PLA. Sa structure interne comporte de nombreuses bagues différentes en PLA fixées via des vis de l'extérieur.

Dans la coiffe, on retrouve le système de mesure de pressions statique et dynamique de l'air via le circuit d'expérience. Il est activable via un interrupteur situé juste en dessous de l'ogive (la pile étant installée à cette hauteur).



Le système d'éjection est assuré par un circuit simple sur PCB fixé entre deux bagues au-dessus de la trappe. On y retrouve principalement une pile d'alimentation, un interrupteur de contrôle d'un servomoteur, trois leds indicatrices de l'état de la minuterie ainsi qu'un emplacement de branchement de prise jack. La trappe quant à elle est positionnée à la frontière du tube en PVC. On y retrouve un pivot en bas afin d'assurer une ouverture en vol, ainsi qu'une attache en haut. Dans cette attache, une goupille dirigée par le servomoteur peut entrer et sortir de son compartiment. La trappe est en constante contrainte par deux ressorts situés à l'intérieur de la fusée. Lorsque la goupille libère la trappe, celle-ci se retrouve expulsée à l'extérieur par les ressorts et un pivot assiste son éjection. La trappe libère alors un compartiment où se trouve logé le parachute. Ce parachute circulaire et doté d'une

cheminée est dimensionné d'après les données du stabtraj. On retrouve une corde attachée en bas de ce compartiment, sur le centre de gravité, à un tube d'aluminium, passant par la trappe (afin de ne pas en faire un débris) puis tenant le parachute.

La partie ailerons est quant à elle composée d'une bague dans laquelle se logent les quatre ailerons, que l'on coulisse par le bas. On y retrouve un emplacement en son centre pour insérer le propulseur, ainsi qu'un support en haut et en bas afin de le maintenir en position tout le long de l'installation et du

vol. En bas de la fusée, un anneau en aluminium permet de tenir le propulseur et une goupille pivotante vient verrouiller le système pour les pyrotechniciens.

Pour un décollage en rampe, la fusée est dotée de deux patins, l'un situé en bas de la fusée, l'autre à hauteur du centre de gravité. Ceux-ci ont été testés au sol en amont.

d. Le C'Space

Lors du C'Space, seuls deux membres du groupe sont parvenus à se rendre disponibles. Cependant, la majeure partie de la réalisation avait déjà été réalisée au cours de l'année. Nous avons rencontré de nombreuses difficultés auxquelles nous avons dû faire face le plus vite possible. Par exemple, la fusée devait à la base décoller en cage. Cependant, celle-ci ayant de nombreuses visibles sortant de la peau, il nous a été conseillé de réaliser des patins et de la faire décoller en rampe. Nous y avons remédié. Nous avons également eu de nombreuses difficultés côté électricité, en particulier lors de l'utilisation du module de carte micro SD. N'ayant jamais utilisé ce genre de dispositif avant ce projet, nous avons été autodidacte et avons profité des connaissances des autres participants au C'Space autour de nous et sommes parvenu à l'utiliser. Un troisième problème majeur était l'éjection de la trappe. La minuterie fonctionnait correctement cependant, la goupille retenant la trappe ne se retirait pas. Nous avons remplacé le servomoteur, ajusté la taille de la goupille, poncé le logement dans la trappe puis finalement remplacé nos deux ressorts par deux plus fins et moins résistants. Ceux-ci étaient alors plus compressés que les anciens lorsque la trappe était fermée et l'éjectait beaucoup plus facilement.



Après de nombreux aller-retour entre l'atelier et la salle de contrôle, nous avons eu la qualification de notre fusée, Barbenheimer, MF37. Le lendemain, nous nous rendons en zone de tir, prêts à voir le résultat de nos efforts.

Une fois appelés, nous allons devant la rampe, nous installons notre mini fusée, notre cable jack, puis une fois éloignés, propulseur installé par les pyrotechniciens et briefé avant le vol..

5,4,3,2, unité, mise à feu....

Pour Barbenheimer, le vol est nominal.

