

Pretoria

MINIFUSÉE



2024-2025

By ECLIPSE - La TRINITÉ

Rapport de Projet

PRESENTATION DU PROJET

ECLIPSE :

Le Club ECLIPSE est un regroupement de lycéens de l'établissement la TRINITÉ à Béziers qui a pris forme en septembre 2022 au sein du lycée. Aujourd'hui nous comptons 25 membres actifs accompagnés de 2 professeurs référents. Notre objectif ? Réaliser deux minifusées et une fusée supersonique au cours de l'année pour un lancement au C'Space 2025.

Nous avons 5 lancements à notre actif (Apogée et Δ Ship en 2023, Naérobi et Arès en 2024 ainsi qu'un ballon sonde nommé Etherna).

Nous souhaitons avant tout approfondir nos connaissances dans les domaines scientifiques et aussi avoir un point de vue nouveau sur la réalisation de projets techniques tels que la conception entière d'une minifusée ou d'une fusée expérimentale. De plus, nous souhaitons implanter un peu plus le club au sein du lycée. Ainsi il serait possible de le faire perdurer avec des nouvelles recrues chaque année. Cela nous permettrait de proposer cette activité ludique qu'est la réalisation de projets scientifiques, aux élèves du lycée de manière durable. En effet, le club a énormément progressé depuis ses débuts, et a donné la fibre scientifique à de nombreux membres. Nous avons eu la chance de travailler avec le CNES et Planète Sciences par le passé et avons donc acquis du savoir-faire et des compétences poussées pour envoyer nos minifusées aux côtés d'écoles d'ingénieurs réputées.

PRETORIA :

La fusée Pretoria est l'un de nos 3 projets de minifusée cette année (2024 - 2025).

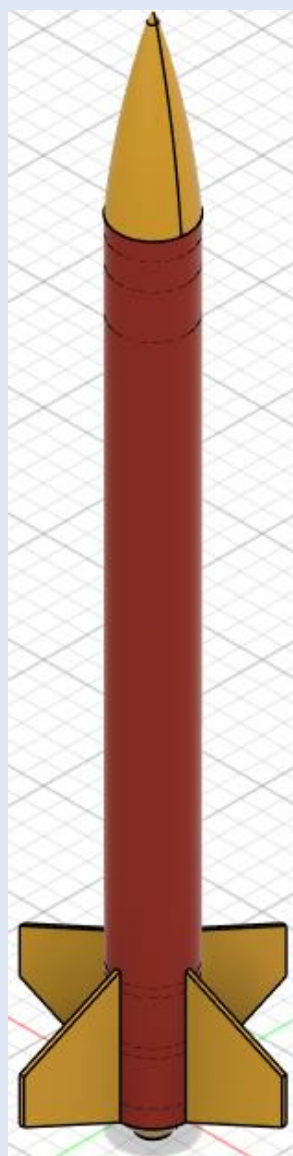
Nous cherchons ici à réaliser une fusée qui nous permettra de confirmer nos méthodes de réalisation en s'inspirant fortement des projets Arès et Naérobi et de leurs enseignements. En reprenant une mécanique similaire tout en l'améliorant (optimisation intégration de l'électronique, accessibilité des batteries, etc...), la principale nouveauté est l'ajout d'un module de télémétrie (LoRa) afin de récupérer nos données d'expériences en direct ainsi qu'un système permettant l'éjection du parachute par la coiffe.

La fusée contiendra 2 cartes : le séquenceur contrôlant l'éjection du parachute à l'apogée de la fusée et la carte expérience contenant un accéléromètre, un altimètre et un module de télémétrie.

Les matériaux que nous avons choisis pour fabriquer la minifusée sont un tube de PVC de 2mm d'épaisseur pour le corps et du PETG pour diverses pièces notamment la coiffe et les bagues moteurs.

La minifusée aura 4 ailerons (pour un décollage en cage), et seront en contreplaqué de 5mm. La fusée mesurera 1m pour une masse de 1.2kg (sans propulseur).

L'objectif est d'atteindre une apogée entre 200 et 250m.



NOS EXPÉRIENCES / ELECTRONIQUE

L'objectif expérimental de la Minifusée Pretoria est de pouvoir positionner en temps réel la fusée – durant son vol – sur une interface graphique en station sol. Les données des capteurs seront donc retransmises par télémétrie à notre station sol. Les capteurs utilisés sur Prétoria pour connaître sa position dans l'espace sont :

- Accéléromètre+Gyroscope (digital) : MPU6050

>>> Ils permettent de mesurer l'accélération et la vitesse de rotation de la fusée autour des trois axes. Ce capteur a été utilisé par un membre du club pour mesurer la position d'un objet à 6 degrés de liberté (3 translations/3 rotations) et c'est ce que nous allons implémenter pour obtenir un résultat graphique du positionnement de la fusée en vol.

- Altimètre Barométrique (digital) : BMP388

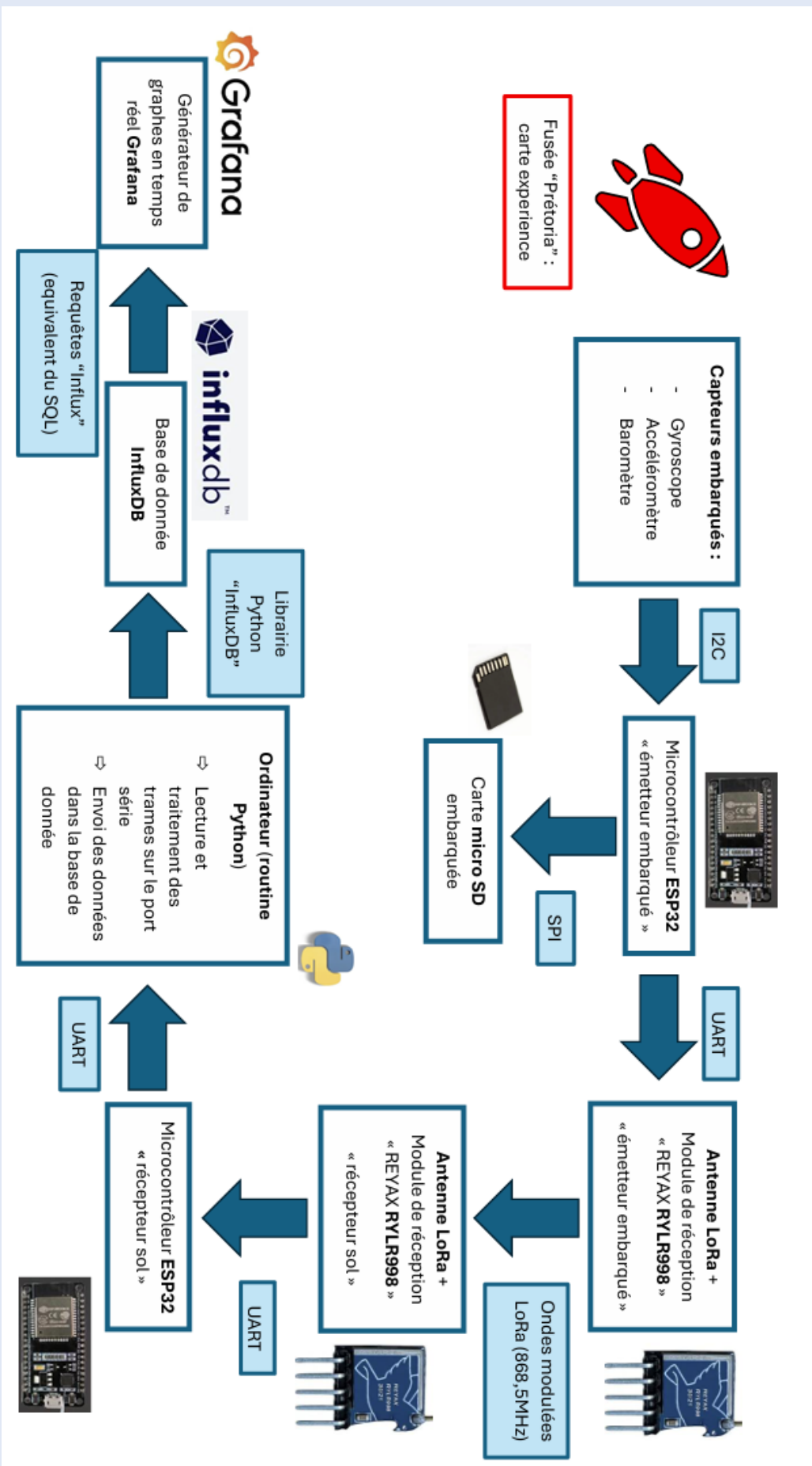
>>> Les mesures de pression, une fois interprétées pourront nous donner des indications sur l'altitude de la fusée au cours du vol. Une comparaison avec la courbe du Stabtraj (Trajecto) est envisagée pour voir si les valeurs expérimentales sont proches de celles calculées par la simulation Trajecto.

La minifusée embarquera avec elle 2 systèmes électroniques. Le premier est le **séquenceur** : responsable de l'ouverture du parachute à l'apogée. Le **système expériences** contient l'altimètre, l'accéléromètre + gyroscope et un ESP32 qui traitera les données de ces deux capteurs puis les enverra au module de télémétrie LoRa. Ce module transmettra ensuite les données à la station de réception au sol via la modulation LoRa.

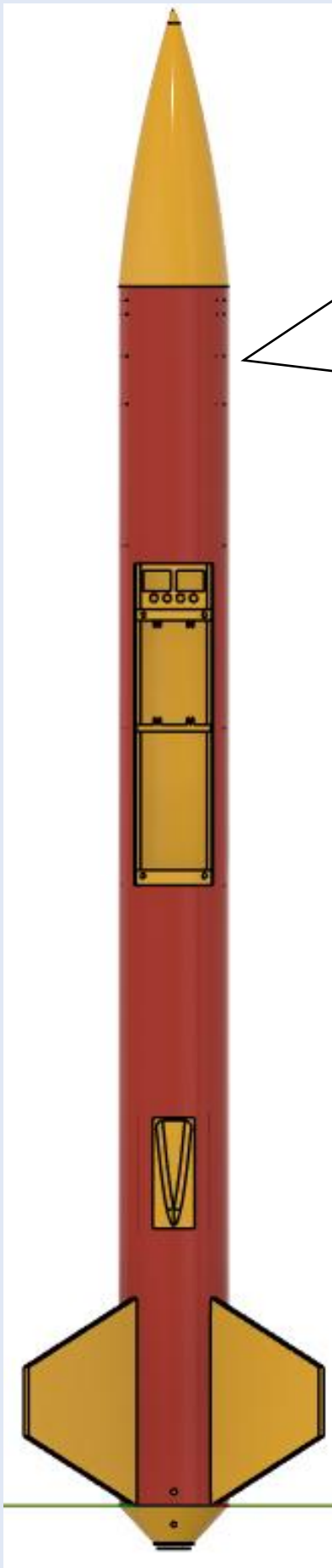
Les cartes électroniques sont des circuits imprimés (2 couches) commandés sur mesure et ont été revues en utilisant notre expérience de ces trois dernières années pour minimiser les erreurs de design.

En effet nous avons eu la première année des problèmes surtout liés à l'alimentation des cartes électroniques (nous utilisons des piles 9V jetables et des régulateurs de tensions linéaires) ainsi nous avons corrigé ce problème cette année en utilisant des batteries rechargeables au Lithium qui ont une meilleure capacité et tiennent mieux les demandes en courant du servomoteur pour ouvrir la trappe. Puis pour abaisser la tension de la batterie pour alimenter le servomoteur nous utilisons cette fois un régulateur de tension type « switching » (ici le MP1584) avec un meilleur rendement et une meilleure stabilité sous haut courant que les régulateurs linéaires (type LM7805 par exemple).

SCHEMA BILAN CHAINE D'ACQUISITION



ARCHITECTURE MECANIQUE



Système de récupération par éjection de la coiffe :

Un servomoteur permet de faire tourner d'un quart la coiffe. Celle-ci sort de ses encoches et est éjectée à l'aide de ressorts. Elle tire donc le parachute et permet son déploiement. Le parachute est logé entre ce système et le bloc électronique.

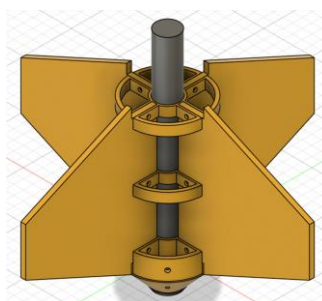
Bloc électronique : C'est le cœur de la fusée. On retrouve en haut de cette pièce les interrupteurs du séquenceur et système expérience et les leds d'états (de gauche à droite) : en attente du décollage ; jack débranché ; éjection du parachute ; bon fonctionnement du système expériences

L'étage d'en dessous permet de fixer verticalement les 2 PCB. Des trous permettent de communiquer entre les étages.

Enfin, le dernier étage permet de stocker les batteries des systèmes. Les 2 derniers étages sont recouverts par une trappe solidement vissée en quatre points.

Logement câble Jack : C'est grâce à cette pièce que nous pouvons brancher notre câble Jack, témoin du décollage.

Bloc ailerons/logement moteur : La reprise de poussée s'effectue par le bas. Les bagues alignent les ailerons et centrent le moteur



StabTraj et parachute



STABILITO

Stabilité de fusée à ailerons

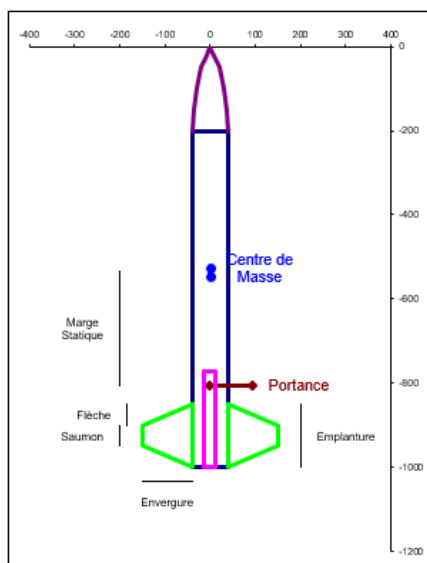
Remplir les cases jaunes

Fusée		
Nom	Pretoria	
Club	Eclipse	
Matricule	MF 6	
Type	Minifusée	
Masse	1200 g	sans propu
Centre de Masse	500 mm	sans propu
Longueur totale	1000 mm	

Propulseur	
Type	Pandora (Pro24-6G BS)
Position du bas	1000 mm

Coiffe	
Forme	Ogivale (pointue)
Hauteur	200 mm
Diamètre	80 mm

Ailerons	
Mono-empennage	
Emplanture 'm'	150 mm
Saumon 'n'	50 mm
Flèche 'p'	50 mm
Envergure 'E'	110 mm
Epaisseur 'ep'	5 mm
Nombre	4
Position du bas	1000 mm



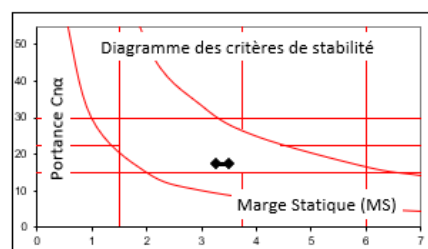
09/06/2025	Min	Résultats	Max
Finesse	10	12,5	20
Portance	15	17,4	30
MargeStat	1,5 D	3,25 D	3,50 D
Couple	30	56,6	61,0
XCp		805 mm	805 mm
MS /L		26% L	28% L
STABLE			

Language/Langue Français

Fusée mono-diamètre,

	Propu plein	Propu vide	Sans propu
Masse propu	0,16 kg	0,084 kg	-
CdM propu	114 mm	114 mm	-
Masse fusée	1,36 kg	1,284 kg	1,2 kg
CdM fusée	545 mm	525 mm	500 mm

	XCp	Cnα
Coiffe	93 mm	2,0
Ailerons	898 mm	15,4



Commentaire libre :

Checksum : propu OK

v3.4.5

Pour le parachute, nous avons opté pour un parachute en forme de croix. Il est composé de 2 bandes de nylon ripstop cousues entre elles et de dimensions 60*25cm chacune.



C'Space

Le C'Space 2025 a entraîné une modification majeure sur notre minifusée. Bien que la majorité de la mécanique ait été améliorée (accessibilité du bloc aileron, des PCB et des batteries), nous avons eu plusieurs soucis liés à l'éjection du parachute. Le premier est lié au parachute. Ses suspentes étaient relativement épaisses (3mm) ce qui prenait de la place dans le trou par lequel il devait sortir. De plus, l'anneau anti-torche était assez grand. Ces deux problèmes ont pour effet de créer de nombreux frottements. Le deuxième problème est la puissance des ressorts. Ils étaient suffisamment puissants pour éjecter la coiffe mais cette dernière n'était ni assez lourde ni assez propulsée avec force pour faciliter l'éjection du parachute. Cela a pour conséquence directe une éjection partielle du parachute.

Nous avons donc mis en place deux systèmes afin de résoudre ces problèmes :

- Nous avons réimprimé une coiffe « vide » dans laquelle nous mettions une partie du parachute.
- Nous avons remplacé les ressorts par des plus puissants.

Malheureusement, ces tentatives ont été infructueuses. Le parachute restait bloqué en partie dans la coiffe et le système n'a pas supporté les nouveaux ressorts entraînant sa casse. C'est pourquoi nous avons creusé rapidement une trappe. Le système est composé d'un servomoteur sur lequel est fixée une « roue ». Lorsque le servomoteur s'active, il la fait tourner, libérant ainsi le parachute.

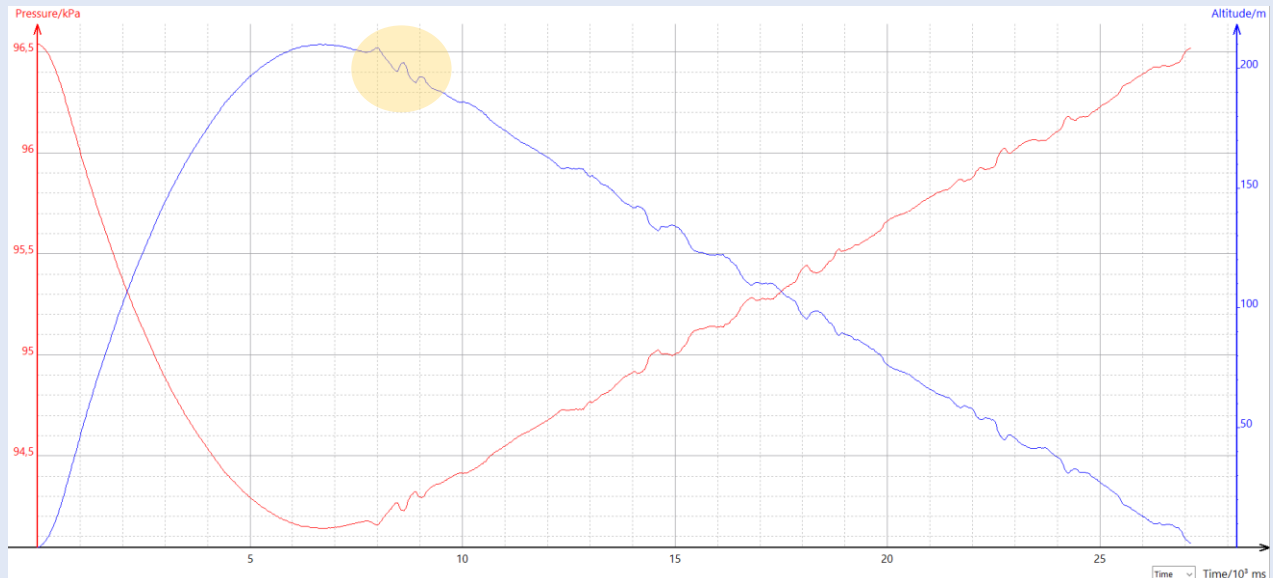
Lancement

La minifusée Pretoria a été lancée le vendredi 11 juillet 2025 à 8h30. Les conditions météorologiques étaient parfaites. Nous avons pu profiter d'un ciel sans nuage et d'une légère brise. La fusée est sortie normalement de la rampe et l'éjection du parachute s'est faite peu après l'apogée. Ce vol nominal est le deuxième du club et nous en sommes très fiers.

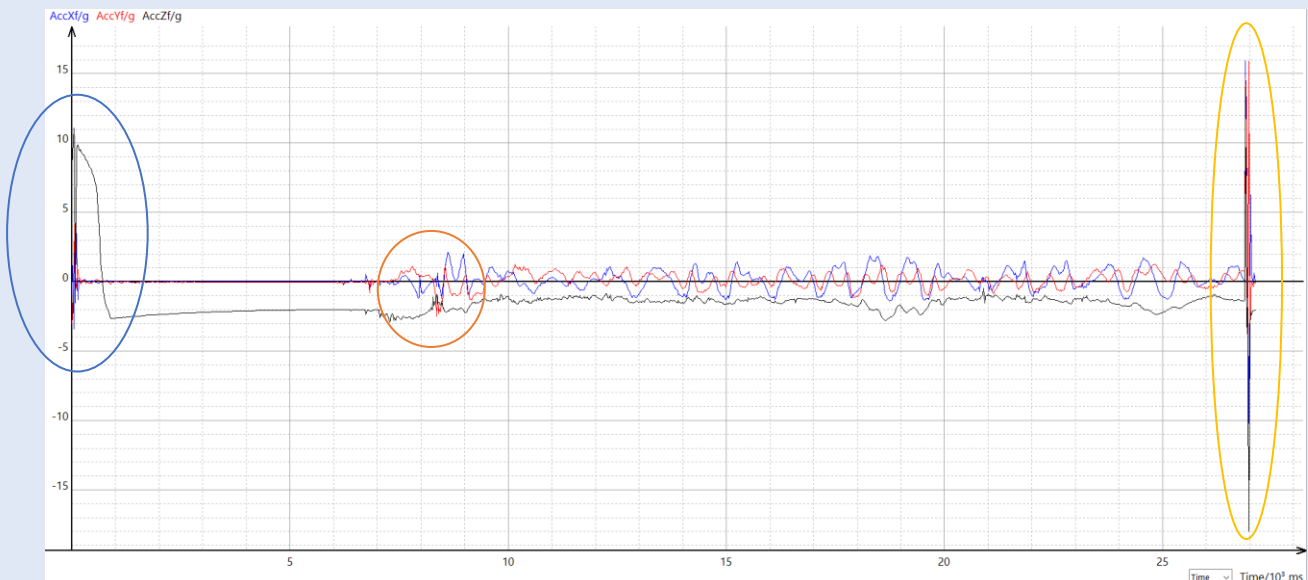


Résultats

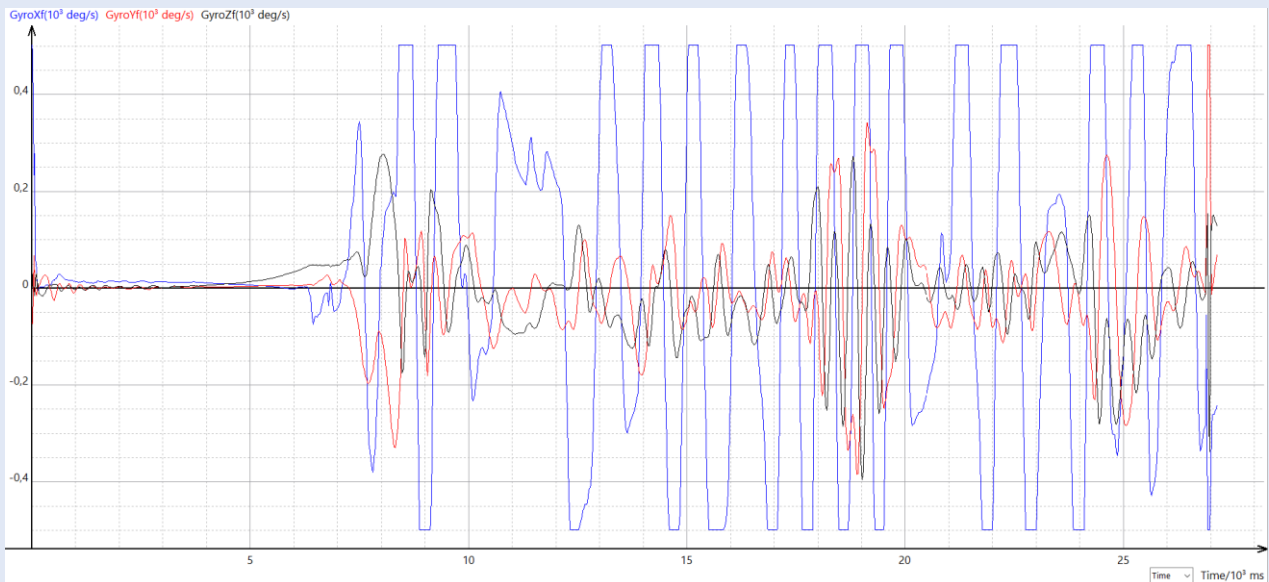
Pour rappel, la minifusée embarquait avec elle un accéléromètre, un gyroscope et un altimètre barométrique. Nous avons pu récupérer toutes les données du vol par télémétrie mais aussi sur la carte sd.



D'après le graphique ci-dessus présentant l'évolution de l'altitude et de la pression en fonction du temps, la minifusée a atteint l'apogée à 210m. On remarque également que l'ouverture du parachute a lieu 8 secondes après le décollage et que celle-ci s'est effectuée peu de temps après l'apogée (disque orange). La minuterie était donc bien réglée malgré le fait que nous avons enlevé 0.7s au temps annoncé par le StabTraj.



Ce graphique montre l'évolution de l'accélération en fonction du temps. La fusée a subi 11g pendant un court instant lors de l'allumage du moteur (cercle bleu). Les g latéraux X et Y sont négligeables dans la phase ascensionnelle à cause de cette forte accélération. On retrouve à nouveau l'ouverture de la trappe parachute au bout de 8 secondes de vol (cercle orange). L'impact au sol (cercle jaune) nous permet d'obtenir la durée du vol, qui est de 27 secondes.



D'après les données du gyroscope, on peut voir que la fusée est restée relativement stable dans la phase ascensionnelle. Cela signifie que les ailerons étaient bien dimensionnés, même si la minifusée était à la limite de l'instabilité. On remarque également que le capteur a été saturé à plusieurs reprises (montées abruptes à amplitude constante pour l'axe X).

Conclusion

Le projet Pretoria est donc une réussite dans son ensemble. Nous avons pu tester de nouveaux systèmes afin de faciliter l'intégration de la fusée. Bien que le système d'éjection par la coiffe n'ait pas pu être mis en place, nous avons su réagir et développer un nouveau système d'éjection trappe plus robuste et plus fiable que ceux de nos précédents projets.

En termes d'électronique, nous avons pu compter sur des capteurs déjà utilisés sur nos précédents projets afin de développer une chaîne d'acquisition de données par télémétrie. Cette dernière pourra être réutilisée sur nos prochaines fusées. Grâce à elle, nous avons pu obtenir des informations sur le comportement de la fusée en vol afin de mieux le comprendre.

La construction de la minifusée n'ait que la finalité du projet. Nous en avons appris bien plus lors de la conception du projet notamment en CAO, en télémétrie et en gestion de projet. De nouveaux membres ont pu découvrir le milieu de la minifusée et être formés.

Remerciements

- MERCI à toute l'équipe d'ÉCLIPSE 2024/2025 : les 25 membres qui se sont impliqués sur la conception et la fabrication de cette minifusée.
- MERCI également aux professeurs encadrant Mme RAFFAELLI et Mme MOULIN pour leur aide et leur soutien sur l'année.
- MERCI aux 6 membres (parmi les 25 membres du club) qui ont été au C'SPACE pour leur finalisation et lancement : Arthur Lunel, Malo Doutremepuich, Baptiste Pauly, Romain Pasturel, Simon Zorzi et Maximilien Boudet.
- MERCI à tous nos partenaires financiers : OGEC lycée la Trinité et Valétudes