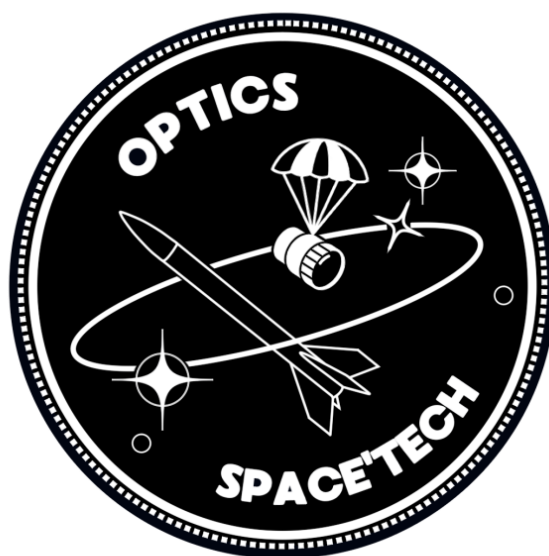




Projet OPTICS – MF-05

Rapport de fin de projet



2024 - 2025

Remerciements

Le projet n'a pu être abouti que grâce à la participation de nombreux acteurs. Nos premiers remerciements s'adressent à l'ensemble de l'équipe OPTICS pour sa dynamique et son investissement infailible tout au long de l'année.

Nous remercions également Planète Sciences et le CNES pour l'organisation de cet événement d'envergure ainsi que pour le suivi technique du projet tout au long de l'année.

Nous remercions nos partenaires : le CROUS Orléans-Tours, l'Université d'Orléans et RS components pour leur soutien financier, indispensables à la réalisation du projet.

Nous remercions l'école Polytech Orléans pour la mise à disposition de ses locaux nécessaires à la réalisation du projet.

Enfin, merci à M. SAVATIER pour le prêt du véhicule, nous ayant permis de nous rendre jusqu'à Tarbes

Sommaire

Table des illustrations	3
Introduction.....	4
1. Description mécanique	5
1.1. Aperçu général	5
1.2. Ailerons	6
1.3. Système de récupération	7
1.4. Système d'éjection du satellite	8
2. Description électronique et informatique	9
2.1. Programmation	9
2.2. Cartes électroniques	10
2.2.1. IHM	10
2.2.2. Séquenceur	11
2.2.3. Carte expérience	12
3. Déroulement du vol et récupération	13
Conclusion	14
Table des annexes	15

Table des illustrations

Figure 1 : vue globale d'OPTICS	5
Figure 2 : Ailerons et fixations	6
Figure 3 : système d'ouverture parachute	7
Figure 4 : mécanisme déployé	8
Figure 5 : mécanisme replié.....	8
Figure 6 : Carte IHM.....	10
Figure 7 : Carte séquenceur.....	11
Figure 8 : OPTICS après le vol	13
Figure 9 : OPTICS après le vol (2)	13

Introduction

La raison d'être du projet OPTICS est de former les nouveaux arrivants à la conception et la réalisation de fusées. Les projets minifusées sont idéaux pour initier les nouveaux membres de l'association aux bases de la mécanique et de l'électronique. Ils permettent de se familiariser avec des logiciels spécialisés, d'apprendre à résoudre des problèmes techniques inattendus et surtout de développer des compétences en gestion de projet et en travail d'équipe.

Par ailleurs, pour que le projet soit plus intéressant et challengeant, nous avons rajouté des complications à notre projet. La principale complication prend la forme d'une expérience : celle de larguer en altitude un satellite. Celui-ci, doté de son propre parachute, retombe indépendamment du corps principal de la fusée. Il est par ailleurs muni d'un accéléromètre, d'un gyromètre et de caméras, faisant d'OPTICS la première fusée avec caméra embarquée de l'association Space'Tech.

1. Description mécanique

1.1. Aperçu général

Le projet OPTICS est une minifusée. C'est donc une fusée de taille raisonnable avec une hauteur de 1m06 (ailerons compris) pour un diamètre de 80mm. Le tube du corps principal de la fusée est en PVC, matériau peu cher et facile à mettre en forme sans recours à des machines-outils spécifiques. Les pièces internes de la fusée (pièces mécaniques, supports de l'électronique, systèmes d'éjection...) ainsi que la coiffe ogivale de type von Karman sont en PLA imprimées en 3D. Les 4 ailerons sont, quant à eux, en aluminium et la bague de reprise de poussée est en bois pour résister au fort échauffement dû au moteur. La masse totale de la fusée est de 2057g.



Figure 1 : vue globale d'OPTICS

1.2. Ailerons

Les ailerons ont été découpés dans de l'aluminium de 2mm d'épaisseur pour s'assurer qu'ils ne fléchissent pas et qu'ils supportent tous les efforts du décollage. Un des points du projet OPTICS a été de trouver une solution de fixation interne des ailerons. Cela permet un design plus épuré et une meilleure pénétration dans l'air.

La figure 2 présente le système retenu. Nous avons opté pour une fixation 3 points pour chaque aileron pour être sûr de la solidité. Ces 3 bagues sont fixées par 4 vis à la peau de la fusée. Par ailleurs, ces bagues de fixation des ailerons servent également de guide moteur.

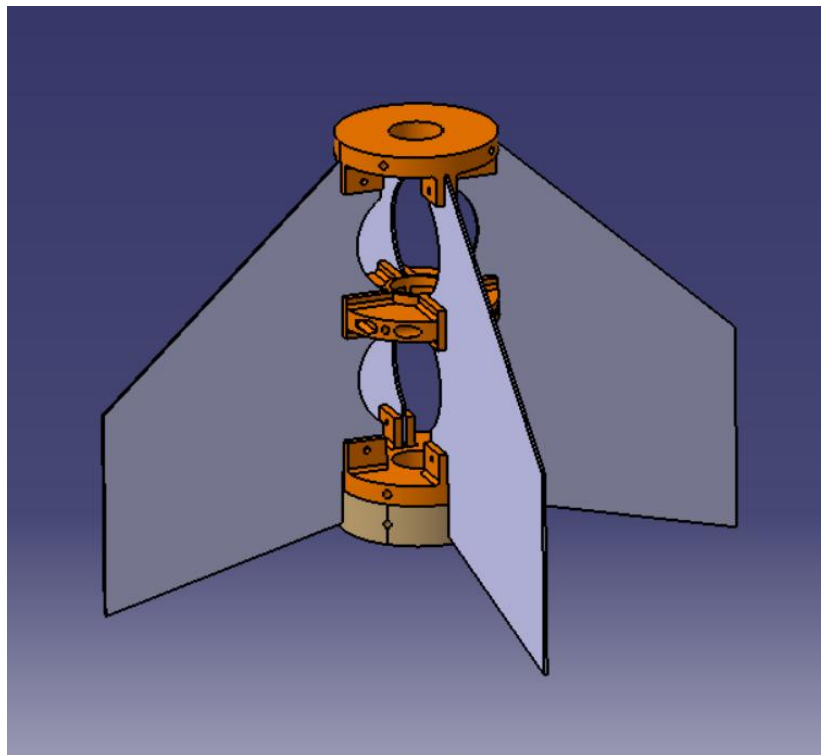


Figure 2 : Ailerons et fixations

1.3. Système de récupération

Le système de récupération est un organe vital de la fusée. Il assure de récupérer la fusée après le vol, autant ses composants que les données de vol. Ce système se compose d'un parachute, d'un emplacement dans le corps de la fusée et d'un système d'ouverture pour libérer ce parachute. Nous avons opté pour un système conventionnel d'éjection de parachute par trappe latérale.

La trappe est maintenue fermée par une fourche mobile. Un servomoteur entraîne une crémaillère qui monte et descend cette fourche. En position basse, elle s'insère dans deux trous présents sur la trappe, ce qui verrouille toute la structure. La figure 3 présente ce système. Cette technologie est fortement inspirée des anciens projets de l'association, pour lesquels ce système a parfaitement fonctionné.

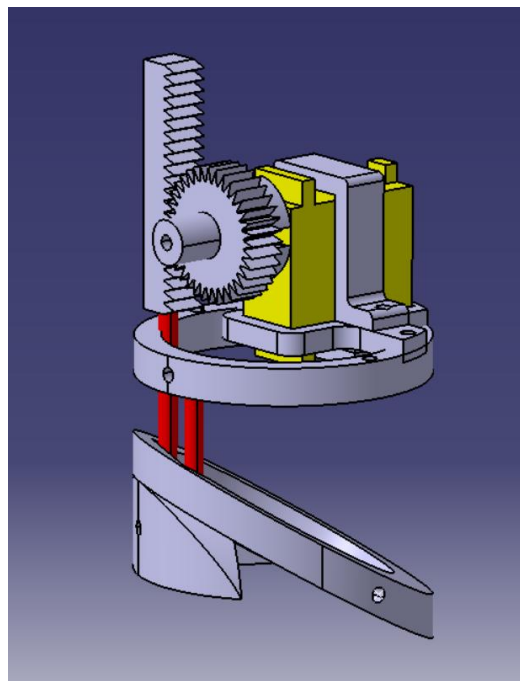


Figure 3 : système d'ouverture parachute

Pour aider la sortie du parachute, nous avons ajouté un ressort au niveau de la fourche pour forcer la trappe à se désolidariser de la peau au moment de l'ouverture. Nous avons également ajouté de la mousse au fond de la trappe pour empêcher le parachute de se coincer dans les recoins ou les parties saillantes.

1.4. Système d'éjection du satellite

L'expérience d'OPTICS est le largage en altitude d'un satellite autonome. Après plusieurs heures de réflexion nous avons convenu que le satellite serait la coiffe elle-même. Cela nous offrait plus de place dans le corps principal pour installer tous les autres systèmes vitaux de la fusée.

Le mécanisme retenu est un mécanisme d'expansion radial. Un servomoteur vient entraîner le disque central. Ceci a pour effet de replier (figure 4) ou déployer (figure 5) les bras dans la bague, par l'intermédiaire de bielles. Ces bras viennent s'encaster dans la partie basse de la coiffe, ce qui maintient solidement ensemble le corps principal et le satellite.

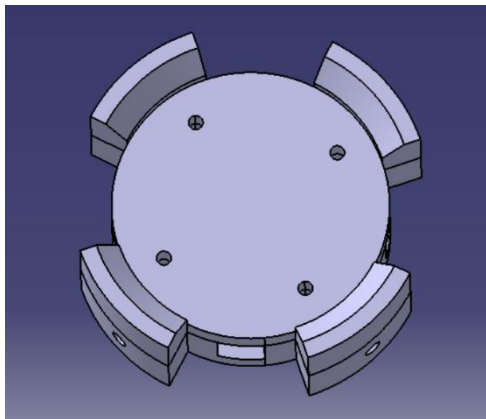


Figure 5 : mécanisme replié

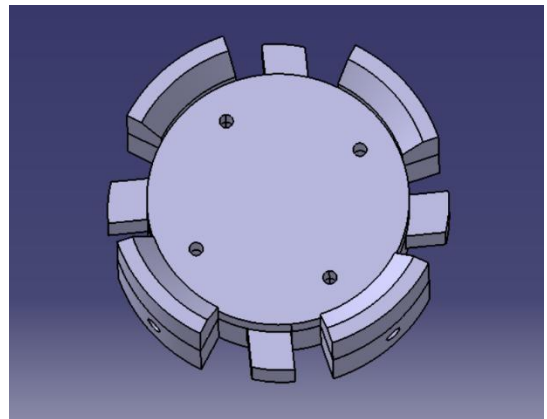


Figure 4 : mécanisme déployé

Pour obtenir une éjection franche du satellite et veiller à ce qu'il n'aille pas percuter le corps principal de la fusée ou s'emmêler dans le parachute principal, nous avons pourvu le système d'éjection d'un ressort. Celui-ci, tout comme le parachute, est logé dans l'espace situé entre la bague d'éjection et la base de la coiffe. C'est pourquoi les bras de fixation de cette dernière doivent être suffisamment longs pour accueillir ces deux éléments.

2. Description électronique et informatique

2.1. Programmation

Afin que le vol se déroule sans encombre, la fusée a été équipée de quelques systèmes électroniques embarqués. Ses dernières fonctionnent sur un ESP32 DevKit V1 et sont programmées en Arduino. Le code de la carte embarquée dans la partie fusée consiste en un séquenceur. Ce séquenceur est divisé en 4 grandes étapes : la première pour le debug et l'installation, permet l'ouverture et la fermeture des deux systèmes d'éjection de la fusée (coiffe et parachute). Après avoir appuyé sur un bouton, on passe à l'étape 2 qui est une attente du décollage. Durant cette étape plus aucune action n'est permise pour éviter une ouverture soudaine en rampe. La troisième étape est l'étape de vol. Elle est déclenchée par le jack qui est débranché au moment du lancement. Elle compte 6 secondes avant d'activer le système d'éjection de la coiffe puis 1 seconde pour déployer le parachute. Enfin, le séquenceur passe en stand by et attend la récupération.

Pour la mise en place de ce programme, nous avons utilisé la librairie ESP32Servo.h pour la manipulation de servomoteur. Ainsi que la librairie FastLED.h pour la gestion du ruban LED qui sert à indiquer l'état actuel de la fusée.

Le deuxième ESP32 se trouve dans la coiffe, il est connecté à la carte expérience qui lui permet de récupérer l'accélération et la vitesse de rotation de la fusée durant le vol. Ses informations sont datées et enregistrées à l'intérieur d'une carte micro SD. La carte expérience n'effectue aucune autre action

Pour cette carte expérience, la librairie Wire.h a été utilisée pour les données de la centrale inertielle en I2C, les librairies SD.h et SPI.h ont quant à elles servi à utiliser la carte micro SD.

2.2. Cartes électroniques

2.2.1. IHM

Parmi les trois cartes électroniques faites pour le projet, la carte IHM est la plus singulière par rapport à ce qui a déjà été fait dans l'association. En effet, sur cette carte, on retrouve seulement deux connecteurs et deux boutons (figure 6) Les deux boutons servent à changer d'étapes ou verrouiller/déverrouiller les systèmes d'éjection présents sur la fusée. L'un des connecteurs est une nappe qui fait la liaison entre la carte séquenceur et la carte IHM. Le deuxième est fait pour connecter un ruban LED adressable de type ws2812b. Celui-ci est collé autour de la fusée et indique en fonction de sa couleur l'état actuel de la fusée de manière esthétique. S'il est vert, le parachute est armé, s'il est rouge, le parachute n'est plus armé et s'il est cyan, la fusée est prête à décoller.

Une tentative d'ajout de résistance de pull down est présente sur la carte mais celle-ci a mal été réalisée, il faut donc en ajouter une numériquement dans l'ESP32.

Cette carte IHM a été utilisée en deux exemplaires pour avoir 4 boutons utilisables.

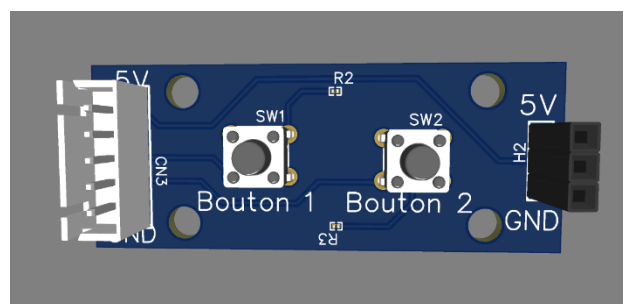


Figure 6 : Carte IHM

2.2.2. Séquenceur

Le PCB séquenceur est la carte électronique principale d'OPTICS (figure 7). Elle se situe dans la partie haute de la fusée, dans le compartiment dédié à l'électronique. Elle est alimentée par deux piles alcalines 9V. On y retrouve deux connecteurs IHM (1) et (2), deux connecteurs pour des servomoteur (3) et (4), un connecteur d'alimentation (5), un convertisseur de tension TSR 2450 pour adapter la tension de la pile vers du 5V (6), un connecteur pour le jack (7) et deux longues séries de 15 broches pour l'ESP32 (8). Cette carte permet d'utiliser les servomoteurs de la fusée. En vol, c'est elle qui déclenche les différents systèmes en fonction d'un minuteur.

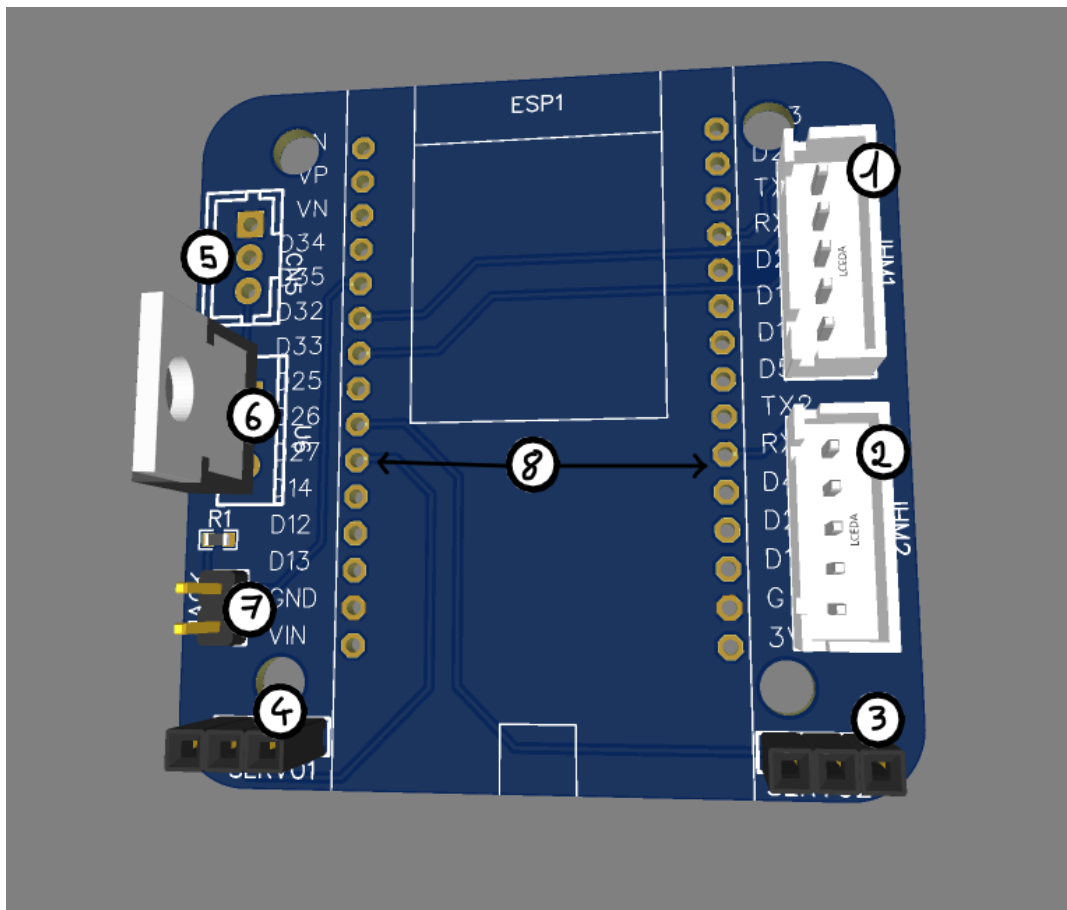


Figure 7 : Carte séquenceur

2.2.3. Carte expérience

Le PCB expérience est une carte secondaire d'OPTICS. Elle se trouve dans le satellite et on y retrouve 3 composants. Le premier est un MPU 6050 qui permet de mesurer l'accélération sur 3 axes de la fusée ainsi que la rotation, elle aussi sur 3 axes. Le second est un module pouvant accueillir une carte micro SD pour stocker des informations durant le vol. Enfin, le dernier est un ESP32 qui permet de lire les données du MPU6050 et de les encoder sur la carte micro SD. Cette carte est également alimentée en 9V d'une pile alcaline.

L'électronique de la coiffe présente aussi deux autres petits modules. Le premier est une caméra cubique autonome achetée sur Amazon. Cependant, celle-ci n'a pas fonctionné car elle n'a enregistré que les deux premières minutes en tente club. Le second est également une caméra, prêtée par Lucas Royer. Cette caméra est une runcam split V4. En plus d'être petite, elle permet un enregistrement de vidéo en 4K 60 images par seconde. Nous avons pu alimenter cette caméra à l'aide de la même pile 9V qui alimentait la carte expérience.

3. Déroulement du vol et récupération

Le vol d'OPTICS s'est déroulé jeudi 10 juillet à 9h42. Mise en rampe rail à 9h34, tous les voyants étaient au vert. Malheureusement, la fusée a effectué un vol torche. L'ouverture trappe s'est parfaitement déroulée et le parachute est sorti sans encombre. Seulement, ce dernier n'a pas pu se déployer correctement et n'a ainsi pas ralenti la fusée lors de sa retombée. La fusée a alors percuté le sol avec force, endommageant gravement la partie supérieure de la fusée, comme en témoignent les figures 8 et 9.



Figure 8 : OPTICS après le vol

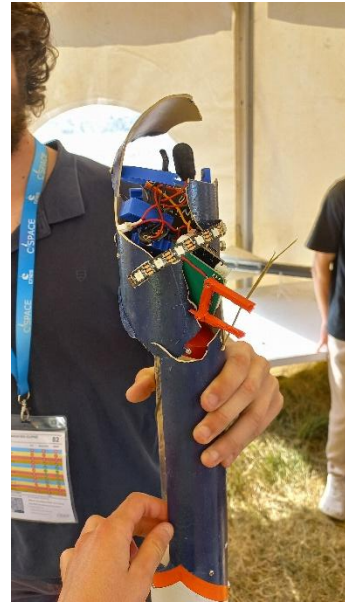


Figure 9 : OPTICS après le vol (2)

Cet incident n'a toutefois pas compromis la mission principale, l'éjection du satellite, dont le vol a été un succès. Après une séparation franche au moment de l'apogée, son parachute s'est entièrement déployé et le satellite est retombé en douceur. Ce bon déroulement nous a permis d'obtenir l'enregistrement d'une vidéo en vue embarquée du vol, objectif principal du projet OPTICS

Après discussion avec les pyrotechniciens et les autres membres du club, il en ressort que l'incident est dû à la fixation de la trappe parachute. En effet, celle-ci était retenue à l'aide d'un fil de pêche à l'anneau anti-torche. Lors de son ouverture, la trappe parachute est venue brusquement tirer sur l'anneau anti-torche, empêchant le parachute de se déployer correctement.

Conclusion

Le projet OPTICS, à l'instar des autres projets de l'association Space'Tech, nous a permis d'acquérir de nombreuses compétences. Les nouveaux membres ont su s'approprier les outils de conception, résoudre les problèmes techniques rencontrés et développer une fusée répondant aux exigences de qualifications du C'Space.

Ces nouvelles connaissances et compétences renforcent le savoir-faire de l'association, facteur déterminant pour son avenir aux côtés de l'association Planète Sciences.

La dynamique de l'équipe a permis de mener le projet à son terme sans écueils. Elle a de plus permis de mettre en place une recherche et développement pertinente pour aboutir aux systèmes présentés plus tôt.

Tous ces points sont donc motivants pour l'année prochaine et pour les projets à venir.

Table des annexes

Annexe 1 : L'équipe.....	16
Annexe 2 : Stab'Traj	177

Annexe 1 : L'équipe

Membre	Année	Pôle
Benoît MAZET	PeiP2 ¹	Chef de projet / Mécanique
Charly SAVATIER-DUPRE	PeiP2	Chef de projet / Electronique
Aurélien BRULEY	PeiP2	Mécanique (récupération)
Cyprien COUSSEAU	PeiP1	Mécanique (coiffe)
Nicolas BOUISSEAU	PeiP1	Mécanique (éjection coiffe)
Jérémy FISCHER	3A TEAM ²	Mécanique (récupération)
Emma LOPEZ	3A TEAM	Electronique
Gaëtan DUMAZ	3A TEAM	Electronique

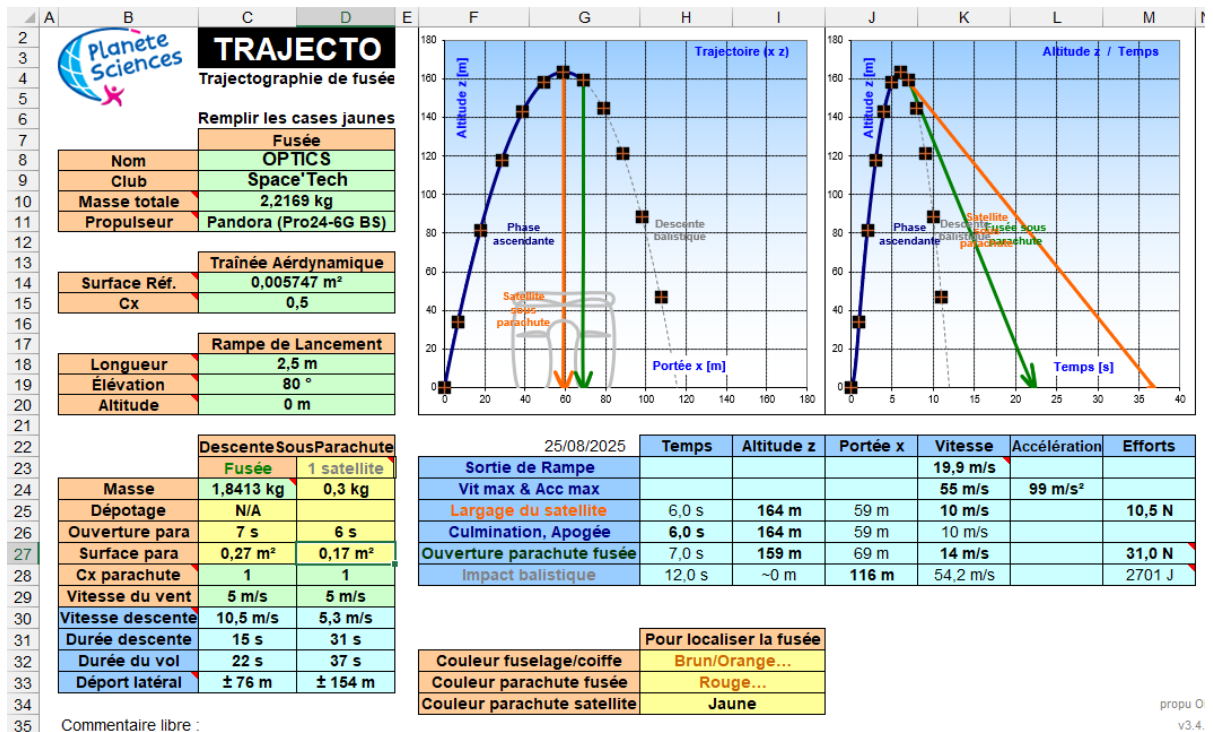
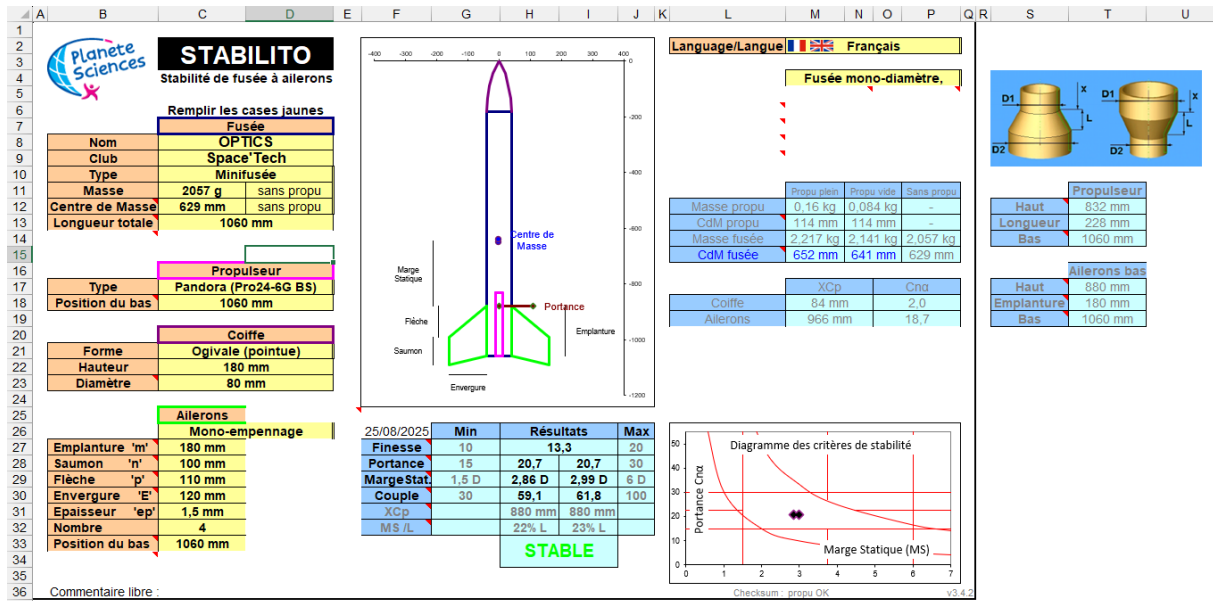
L'équipe se divise donc en deux pôles : un pôle mécanique et un pôle électronique. Le pôle mécanique a principalement la charge de la conception de la structure de la fusée. Cela comprend la définition de sa forme générale, le dimensionnement et l'implantation des ailerons, ainsi que la conception des systèmes mécaniques critiques, tels que les systèmes d'éjection du parachute et de la coiffe.

Le pôle électronique, quant à lui, réalise la conception et la fabrication des différentes cartes électroniques embarquées dans la fusée, à savoir le séquenceur, les cartes IHM et la carte expérience.

¹ Le PeiP est le cycle préparatoire intégré de Polytech. Il s'effectue en 2 ans.

² TEAM : Technologie pour l'Energie, l'Aérospatial et la Motorisation

Annexe 2 : Stab'Traj

propu O
v3.4.