



RAPPORT DE PROJET

Minifusée ELIDA (MF82)



Juillet 2024

Tableau des figures

Figure 1: Modélisation de la fusée sur Open Rocket.....	6
Figure 2: Stabilité de la fusée sur Stabilito	6
Figure 3: Trajectoire de la fusée sur Trajecto	7
Figure 4: Conception modulaire de la fusée	7
Figure 5: Ensemble ailerons et rondelles	8
Figure 6: Système cadre et trappe	8
Figure 7: Coupleur et plaque de poussé.....	9
Figure 8: Coupleur et mécanisme de déclenchement du parachute	9
Figure 9: Parachute	10
Figure 10: Étage électronique.....	10
Figure 11: Composition de la minuterie	11
Figure 12: Minuterie de la fusée	14
Figure 13: ELIDA dans le stand du C'space.....	15
Figure 14: Onglet pour la fixation du propulseur.....	15
Figure 15: Images des contrôles	16
Figure 16: Qualification de ELIDA	17
Figure 17: Vol de ELIDA à C'Space.....	18
Figure 18: Attestation du vol nominal	18

Sommaire

I.	Introduction générale et présentation du projet	5
1.	Introduction	5
2.	Remerciement.....	5
3.	Présentation de l'équipe	5
II.	Conception mécanique et fabrication	6
1.	Modélisation sur Open Rocket.....	6
2.	Simulation sur STABTRAJ.....	6
3.	Conception sur SolidWorks et fabrication	7
3.1	Étage propulseur	8
3.2	Étage parachute	8
3.3	Étage électronique.....	10
III.	Conception électronique	11
1.	La minuterie	11
2.	Schématique	11
3.	Routage	13
4.	Simulation	14
5.	Réalisation	14
IV.	Assemblage, Contrôle et Résultats.....	15
1.	Assemblage	15
2.	Contrôles.....	16
3.	Qualification	17
4.	Lancement	18
5.	Leçons	19
6.	Conclusion	20

I. Introduction générale et présentation du projet

1. Introduction

Depuis 2012, le Club Enim Aerospace (TSA ENIM) est le seul club d'aéromodélisme en Tunisie ayant l'ambition de s'intégrer dans le domaine des fusées scientifiques et de participer à des compétitions prestigieuses telles que C'SPACE. Malheureusement, les projets réalisés au cours de ces années n'ont pas pu participer à des compétitions internationales. Cependant, grâce à la coopération avec le TSA (Tunisian Space Agency), nous avons finalement pu concrétiser cette ambition.

Ainsi, lorsque l'opportunité de participer à l'édition 2024 de C'SPACE s'est présentée, nous avons été très enthousiastes face à cette perspective.

2. Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à l'École Nationale d'Ingénieurs de Monastir (ENIM) pour son soutien dans la réalisation de ce projet. Nous remercions particulièrement M. Mondher Zidi, directeur de l'ENIM, pour son appui institutionnel. Nos remerciements s'adressent également à notre professeur, Mme Lamis Allegui, et à la doctorante Oumaima Sadok pour leur précieuse assistance dans les travaux d'impression 3D liés à ce projet. Nous exprimons également notre sincère reconnaissance envers nos encadrants de l'association Tunisian Space Agency, M. Yosri Feki et M. Karim Hamid, pour leur suivi, leurs encouragements et leur soutien technique tout au long de ce projet. Nous remercions également toute l'équipe des bénévoles lors du C'Space 2024 , en particulier, nous remercions Rafik Meziani pour son expertise, son soutien indéfectible et ses précieux conseils tout au long de notre projet.

3. Présentation de l'équipe

L'équipe du club TSA (ENIM Aerospace), composée de six élèves ingénieurs en génie énergétique et mécanique de l'ENIM, a travaillé cette année sur plusieurs projets de fusées. Ce rapport est consacré à l'une des mini-fusées, nommée ELIDA, qui a été lancée lors de Cspace 2024 et principalement réalisée par notre équipe : Ellisa Allaya, Synda Sahli et Khayreddine Zomita.



Synda SAHLI



Elissa ALLAYA



Khayreddine ZOMITA

II. Conception mécanique et fabrication

1. Modélisation sur Open Rocket

La première étape a été de réaliser une conception préliminaire de la mini-fusée en utilisant le logiciel Open Rocket. Cela nous a permis d'obtenir une visualisation générale de la forme ainsi que de la composition intérieure et extérieure de la fusée. Afin de faciliter le transport depuis la Tunisie, nous avons prévu la fusée en trois étages démontables via deux coupleurs.

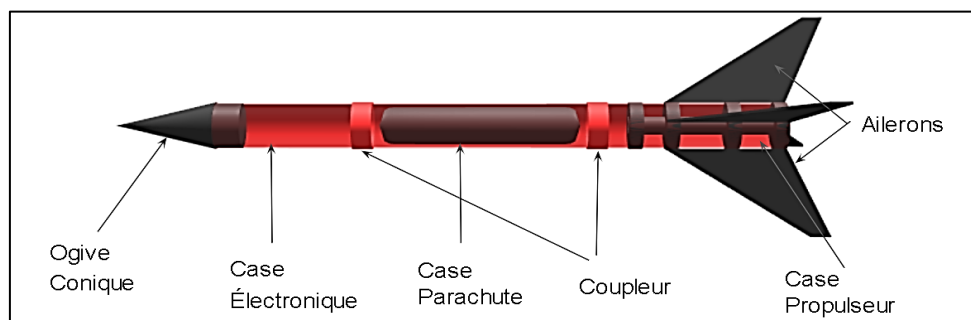


Figure 1: Modélisation de la fusée sur Open Rocket

2. Simulation sur STABTRAJ

Après avoir défini les grandes lignes de la conception sur Open Rocket, nous sommes passés à la modélisation sur l'application STABTRAJ. Nous avons réussi à manipuler les paramètres et les dimensions pour assurer la stabilité et la trajectoire souhaitées.

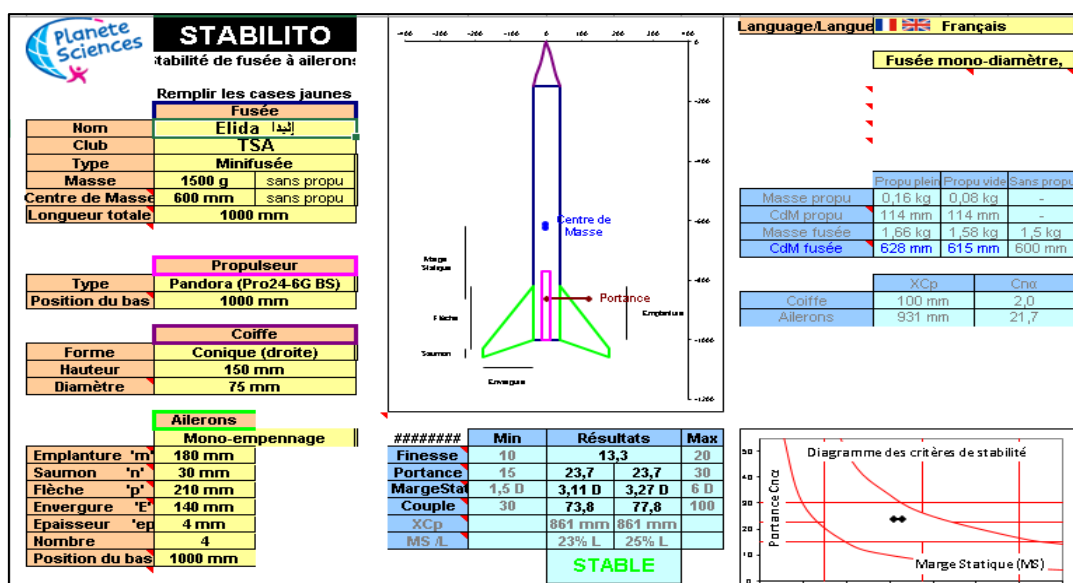


Figure 2: Stabilité de la fusée sur Stabilito

Comme le montre la Figure 2, la fusée, dotée de quatre ailerons, a une longueur de 1000 mm, un diamètre de 75 mm et une masse de 1500 g. Elle est stable d'après le diagramme des critères de stabilité.

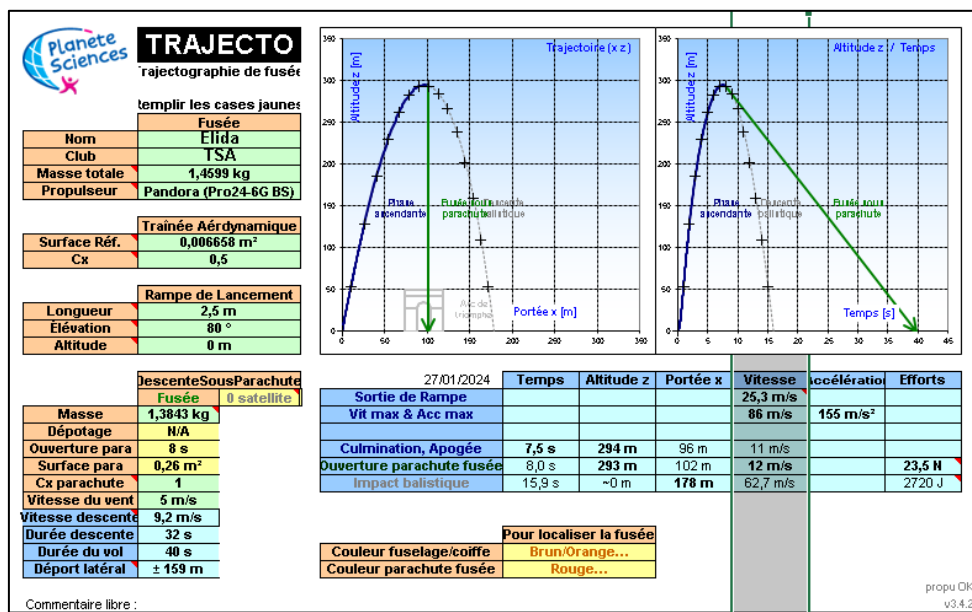


Figure 3: Trajectoire de la fusée sur Trajecto

Comme le montre la figure 3, la fusée atteindra une altitude de 294 m avec une vitesse de 86 m/s et atteindra l'apogée en 7,5 secondes. Ce temps d'apogée sera pris en compte dans le système de déclenchement du parachute.

3. Conception sur SolidWorks et fabrication

Pour affranchir un niveau plus détaillé de la conception de la minifusée nous avons utilisé le logiciel SolidWorks. Là nous avons conçu une structure modulaire composée de trois étages essentiels :

- Étage propulseur
- Étage parachute
- Étage électronique

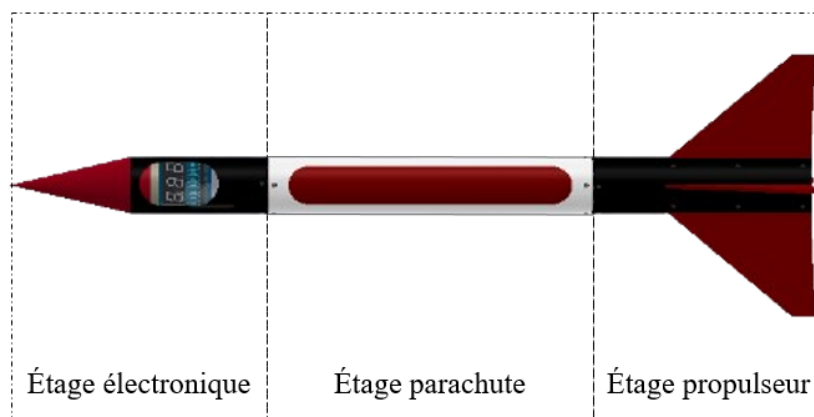


Figure 4: Conception modulaire de la fusée

3.1 Étage propulseur

Les composants internes de cet étage comprennent quatre ailerons et trois rondelles de fixation. Les rondelles assurent la fixation des ailerons à l'aide de rainures en T et centrent le propulseur. Les pièces sont fabriquées par impression 3D en ABS, un matériau à la fois robuste et léger. Un jeu spécifique a été prévu pour faciliter le montage de toutes les pièces. Pour assurer le montage du propulseur Pro24, nous avons considéré un trou intérieur de 26 mm de diamètre dans les rondelles.

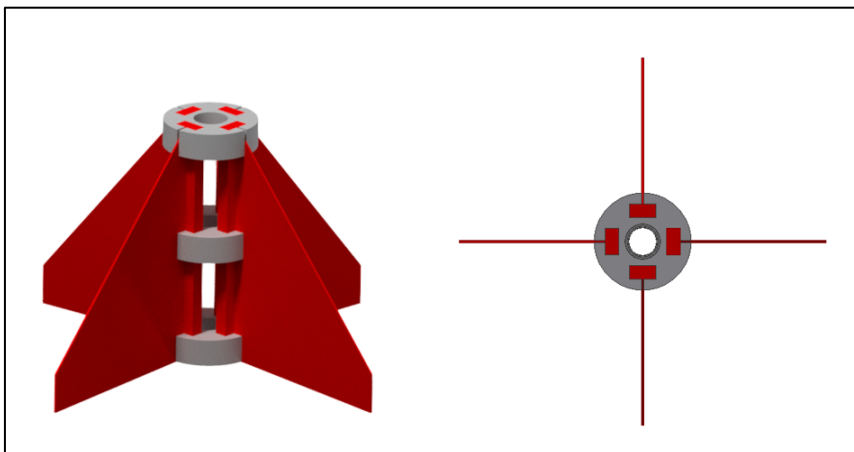


Figure 5: Ensemble ailerons et rondelles

3.2 Étage parachute

Cet étage se situe au milieu de la fusée, constituant une continuité du fuselage et intégrant le système de récupération par parachute. La couverture est un tube en PVC de 75 mm de diamètre, avec un évidement central permettant d'y insérer le parachute. Pour corriger la déformation du tube en PVC et le renforcer au niveau de l'évidement, un cadre en PETG a été conçu, accueillant également la trappe.

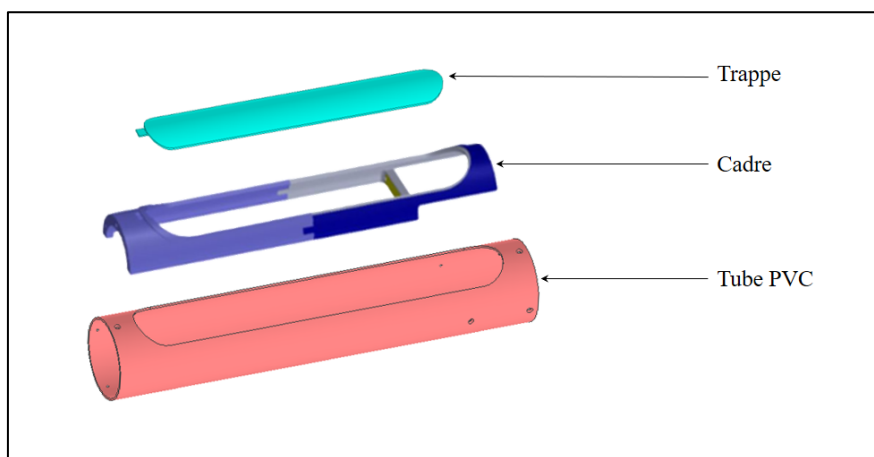


Figure 6: Système cadre et trappe

Coupleur et plaque de poussé

En bas, un coupleur rigide en ABS relie l'étage parachute à l'étage propulseur (Figure 7). Ce coupleur joue également le rôle de plaque de poussée pour absorber la force appliquée au propulseur et comporte une vis à anneau où s'attache la corde principale du parachute.

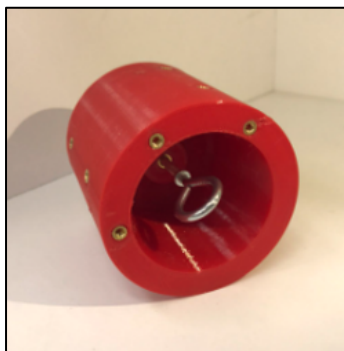


Figure 7: Coupleur et plaque de poussé

Mécanisme de déclenchement du parachute

En haut se trouve le deuxième coupleur, qui relie l'étage parachute à l'étage électronique. D'autre part, il contient le mécanisme de déclenchement du parachute (Figure 8).

Le mécanisme choisi est un verrou électromagnétique, fixé dans le coupleur, tandis que la seconde pièce, un étrier en U, est attaché à la trappe. Lorsque la trappe est fermée, le verrou électromagnétique maintient l'étrier en place, empêchant toute ouverture. La trappe ne s'ouvrira qu'à la réception d'un signal de la carte électronique envoyé au verrou, lequel déclenchera alors son désengagement et permettra l'ouverture de la trappe.

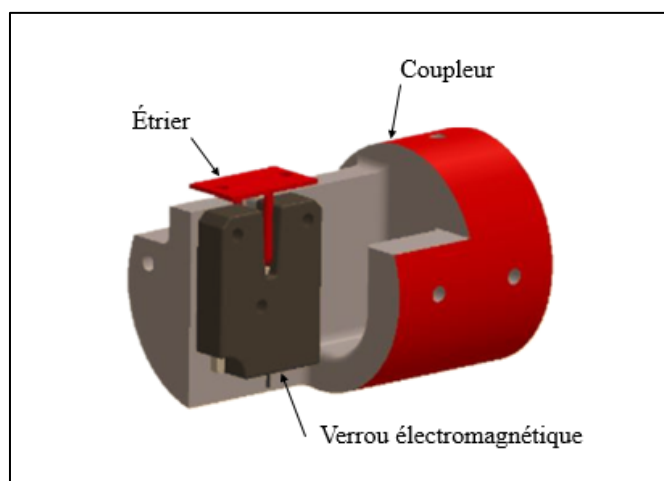


Figure 8: Coupleur et mécanisme de déclenchement du parachute

Parachute

La trappe arrachée de la peau de la fusée emporte avec elle le parachute, qui ralentira la vitesse de descente de la fusée. Ses dimensions et sa forme sont basées sur les données récoltées de STABTRAJ. Le parachute a été fabriqué en tissu de nylon. Dans chaque coin, des œillets ont été intégrés pour renforcer les trous dans le tissu. Les 8 suspentes ont été passées à travers les œillets et fixées à l'aide de nœuds en huit, puis introduites dans l'antitorche avant d'être nouées en grands nœuds au niveau de l'émerillon. La longueur des cordes est 1,5 fois la taille de la fusée. Le pliage du parachute est également crucial, car il doit permettre un déploiement facile et sûr. Il est important de vérifier qu'il n'y a pas de risque qu'il s'accroche au corps de la fusée.

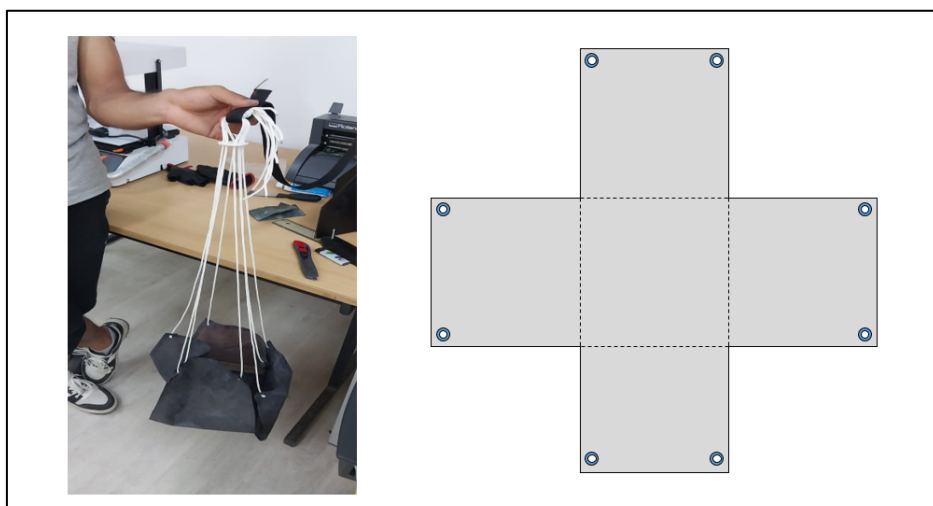


Figure 9: Parachute

3.3 Étage électronique

L'étage électronique, situé en haut de la fusée, comporte un sous-ensemble électronique et une ogive. Cette dernière, de forme conique simple, a été imprimée en 3D en ABS. Quatre inserts ont été intégrés à sa surface latérale pour permettre la fixation au tube en PVC. Le sous-ensemble électronique se compose de deux disques et d'une plaque en PETG, laquelle intègre la carte électronique d'un côté et les batteries de l'autre.

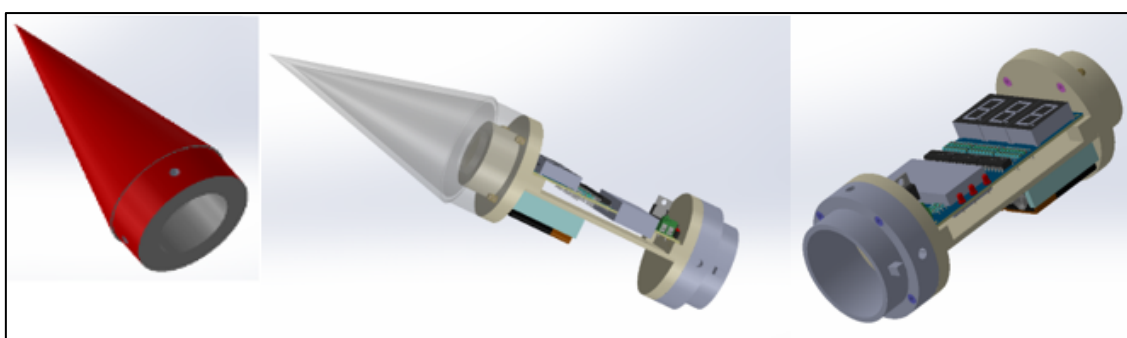


Figure 10: Étage électronique

III. Conception électronique

1. La minuterie

La carte choisie pour la fabrication est essentiellement une minuterie basée sur le microcontrôleur ESP32. La carte électronique se compose d'une partie puissance et d'une partie commande. Une Batterie pour la carte électronique et l'autre pour le verrou électromagnétique. Lors relâchement du fiche Jack le décomptage commence et sera affiché dans un afficheur 7 segments. Au bout de 7.5 seconde le relai va fournir le courant nécessaire pour déclencher le verrou et ouvrir la trappe.

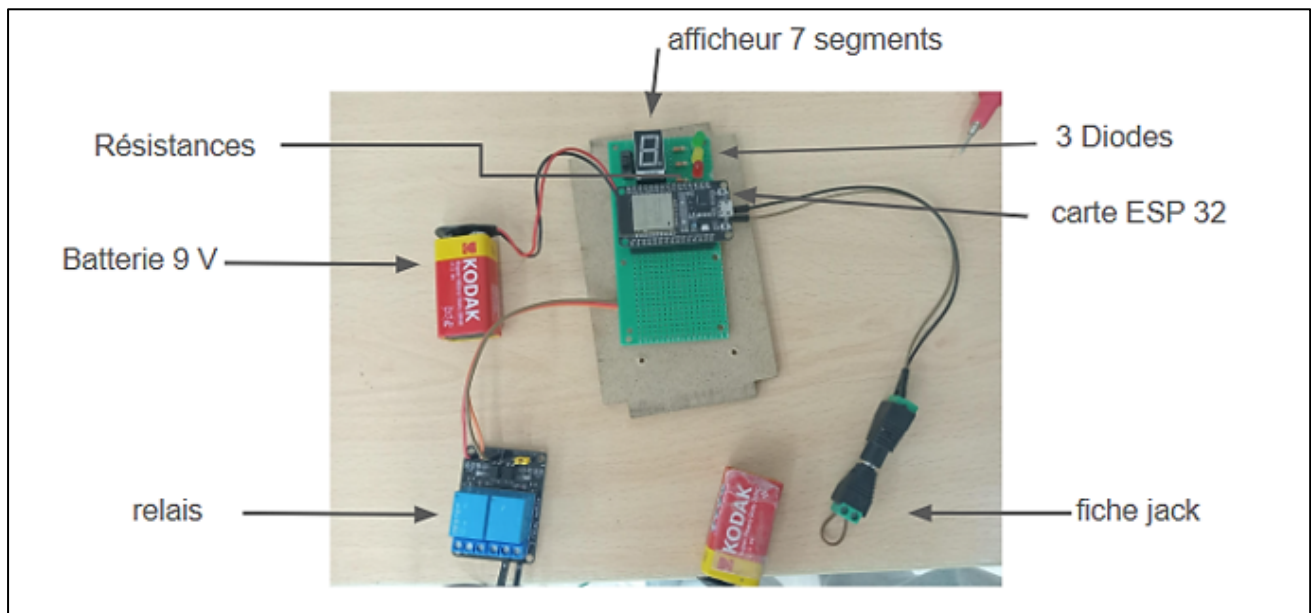
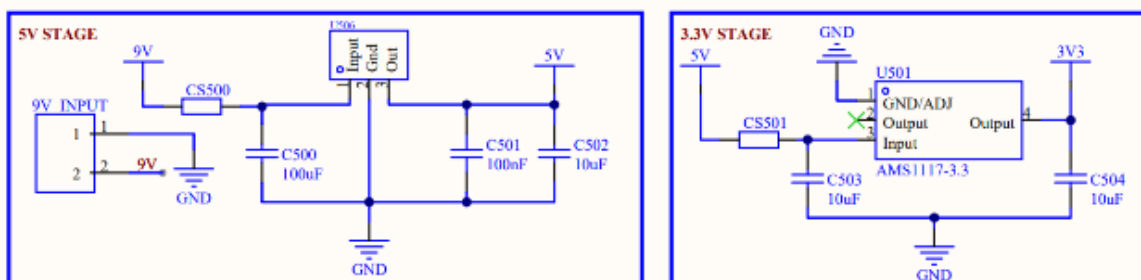


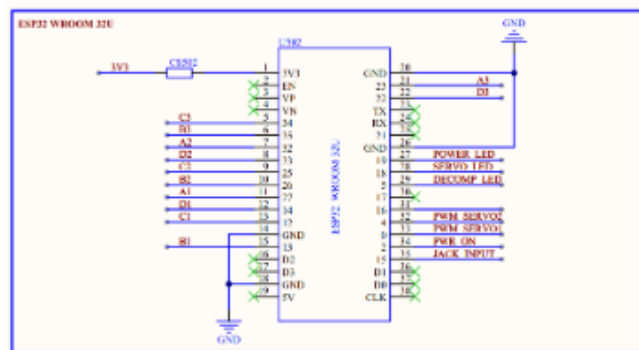
Figure 11: Composition de la minuterie

2. Schématique

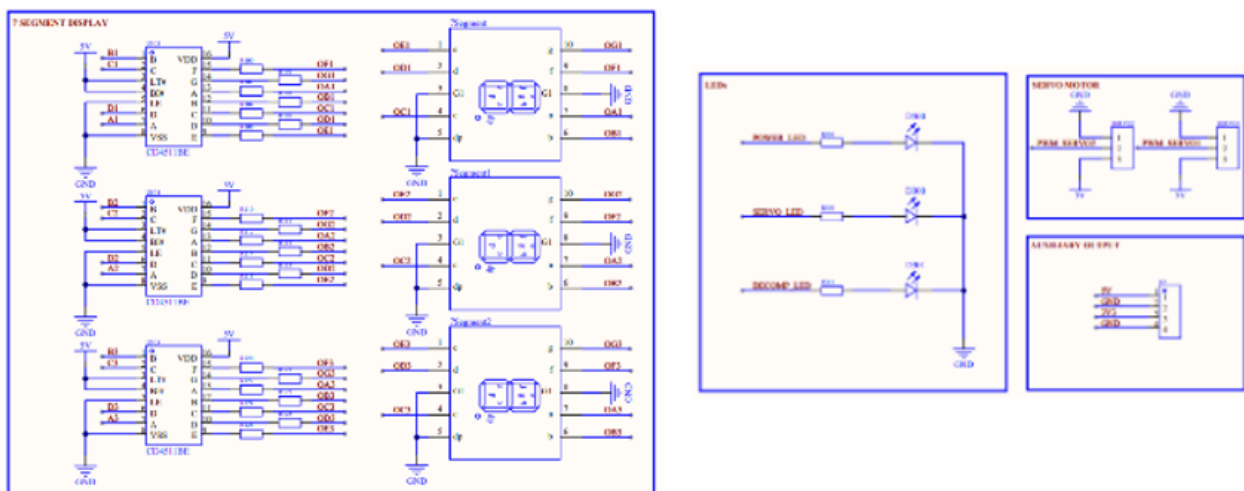
Alimentation Batterie 9V



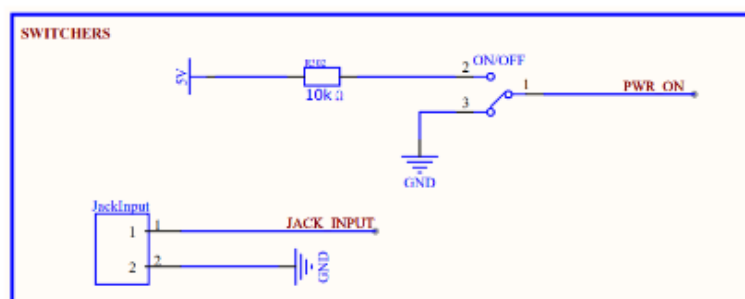
Carte électronique ESP32 WROOM32-U



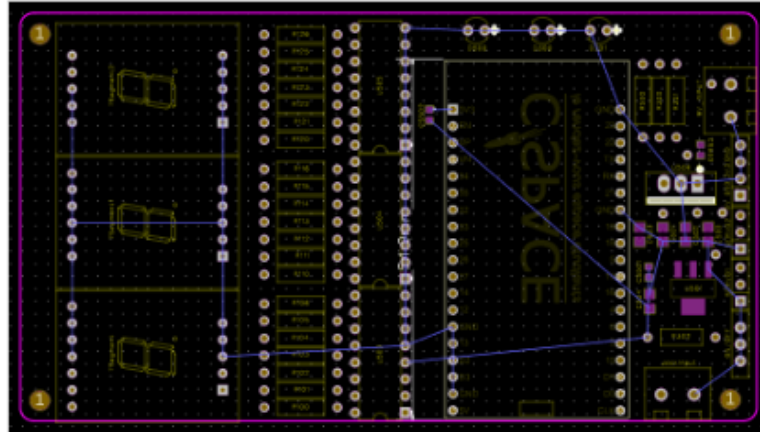
Output Afficheur 7 Segments, LEDs et servomoteur



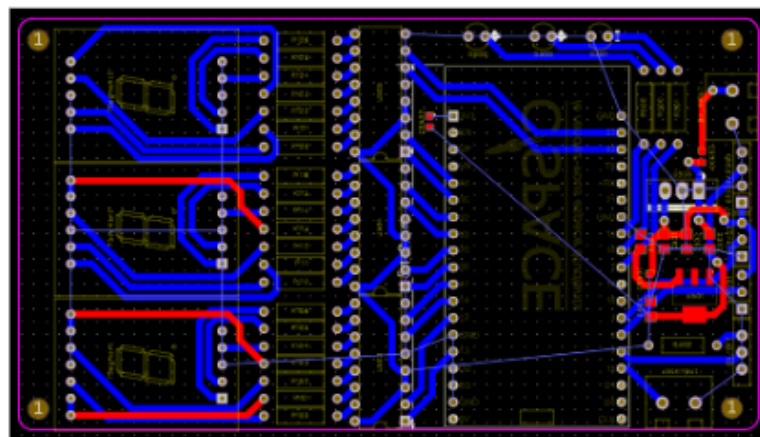
Input : Bouton mise en marche et port Jack



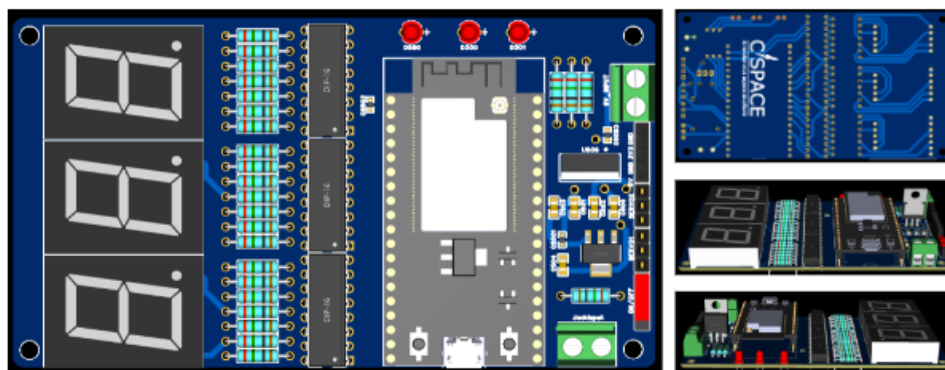
Placement des composants



3. Routage



Visualisation 3D



4. Simulation

La simulation de la minuterie a été réalisée sur le logiciel Proteus 8. Tous les composants nécessaires y ont été ajoutés, et le fonctionnement a été simulé. Le système est ainsi capable de fournir le signal nécessaire pour l'ouverture du verrou électromagnétique après le décompte du temps prédéfini. Les trois LED indiquent les différents états de fonctionnement, tandis que l'afficheur 7 segments affiche le décompte en temps réel.

5. Réalisation

Après avoir finalisé la fabrication de la carte PCB et le soudage des composants, quelques problèmes ont été rencontrés lors de la phase de mise en marche. Il a donc été décidé de recourir à une méthode classique en utilisant une plaque perforée. La carte minuterie a ensuite été montée dans son support dans l'étage électronique à l'aide de vis et d'inserts, puis le câblage a été réalisé.

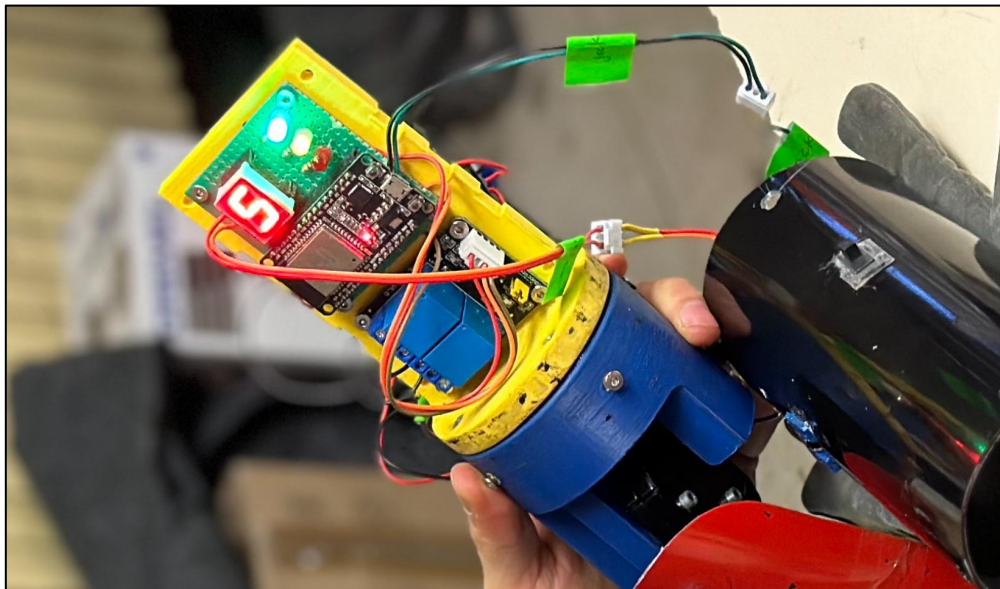


Figure 12: Minuterie de la fusée

IV. Assemblage, Contrôle et Résultats

1. Assemblage

L'assemblage de toutes les pièces mécaniques et électroniques a été effectué dans le club en Tunisie. Quelques points d'amélioration et de petites rectifications ont été identifiés. En raison des contraintes de temps, la fusée a été démontée, et ces ajustements ont été laissés à finaliser durant les journées du C'Space.



Figure 13: ELIDA dans le stand du C'space

Sur place, au C'Space, nous avons réassemblé la fusée, travaillé sur les points ouverts, et apporté des optimisations et améliorations supplémentaires, telles que :

- L'amélioration du parachute.
- L'amélioration de l'étanchéité entre la trappe et la peau de la fusée.
- L'ajout de l'onglet de fixation du propulseur (Figure 14).



Figure 14: Onglet pour la fixation du propulseur

2. Contrôles

Les contrôles de la fusée ont impliqué divers aspects pour garantir sa performance et sa sécurité. Parmi les vérifications réalisées, l'intégration du propulseur a été soigneusement examinée, de même que la stabilité de la fusée, confirmée par une analyse des données sur STABTRAJ incluant dimensions, poids et centre de masse. Le système de séparation a été testé dans des conditions simulées de vol, et les ailerons ont été inspectés pour assurer leur précision et leur alignement. La robustesse de la structure a également été évaluée, ainsi que l'état de la flèche. Dans les figures suivantes, quelques images illustrent les contrôles effectués.



Elida près pour les contrôles



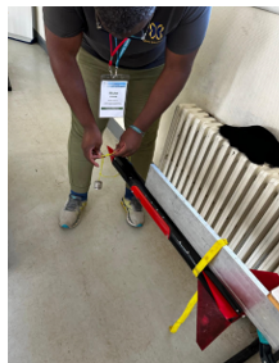
Mesure des dimensions



Montage du propulseur



Vérification du système de séparation



Mesure de la flèche



Perpendicularité des ailerons

Figure 15: Images des contrôles

3. Qualification

Après avoir corrigé et apporté les petites rectifications mentionnées par les contrôleurs, ELIDA a satisfait à tous les critères et a été qualifiée pour voler à C'Space.

cnes
CENTRE NATIONAL
D'ETUDES SPATIALES

Planète Sciences
une aventure pour les jeunes

**Fiche de contrôle
Minifusée**
Campagne nationale de lancement
C'Space

Nom du club : Tunisian Space Agency

Nom du projet : Elida

Matricule : MF82

Nom du contrôleur : Corentin L.

☒ **Pandora** Pro24-6G-14301250 ☐ **Autre :** (Précisez)

FUSEE QUALIFIEE ☒ **OUI** ☐ **NON**

Le 10/02/24 à 16:40

Michel Londe

Visa Planète Science

Fiche de contrôle Minifusée C'Space Version 4.0 / Novembre 2023

Figure 16: Qualification de ELIDA

4. Lancement

Le lancement a eu lieu le 12 juillet à 08:50. Nous avons suivi la chronologie du vol pour mettre la fusée en place avant de nous rendre à la tente de lancement. Après le décompte final et l'appui sur le bouton, la fusée a décollé. À l'apogée, la trappe s'est relâchée, permettant au parachute de sortir et de ralentir la fusée comme prévu. Ce moment a été rempli d'émotion. Par la suite, nous avons récupéré la fusée en suivant la position GPS fournie par les techniciens.



Figure 17: Vol de ELIDA à C'Space

L'attestation de **vol nominal** nous a été remise lors de la cérémonie.



Figure 18: Attestation du vol nominal

5. Leçons

Après neuf mois de préparation pour notre première participation à C'Space, nous avons acquis de nombreuses leçons précieuses qui nous ont rendus heureux de cette expérience enrichissante. Voici quelques-unes des leçons parmi tant d'autres que nous avons tirées de cette aventure :

Leçons Organisationnelles

- Demander la lettre d'invitation officielle pour le C'Space dès janvier 2025, afin de postuler pour le visa vers la France au plus tard en mars 2025.
- Mettre l'accent sur le travail d'équipe et la communication, afin que tout le monde soit informé de l'état d'avancement du projet et que la coordination soit effectuée quotidiennement.
- Documenter tout au long du projet chaque étape avec des images et des schémas, afin d'assurer le travail d'équipe et de pouvoir utiliser ces éléments lors des présentations et rapports.
- Être minutieux lors de l'utilisation des inserts, car lors du montage-démontage des vis, il y a un risque que la partie plastique autour de l'insert soit endommagée.

Leçons Techniques

- Finaliser le projet le plus tôt possible avant le mois de juin au plus tard, afin d'être prêt pour le lancement dès le premier jour de C'Space 2024.
- Penser à l'intégration de la carte électronique et au câblage pour faciliter le changement de pile et éviter de démonter trop de pièces en cas de correction.
- Concevoir et finaliser le parachute en s'assurant que non seulement le tissu est adéquat, mais aussi que tous les composants comme les œilletons, les suspentes, l'antitorche, l'émerillon et la méthode de nœuds sont montés et accordés selon le cahier des charges.
- Bien considérer l'emplacement du bouton on/off global et du fiche jack pour s'assurer qu'ils ne sont pas en conflit avec le support de la carte électronique et les câbles.
- Assurer la bonne fermeture de la trappe, en veillant à ce qu'elle ne vibre pas, qu'elle soit bien arrondie et qu'elle s'ajuste correctement à la peau de la fusée, tout en garantissant l'étanchéité entre les deux.
- Prendre en compte les jeux nécessaires entre les pièces pour éviter tout montage et démontage difficile et minimiser le risque d'endommagement des pièces.
- Donner la priorité à compléter le système de séparation en incluant une carte électronique fonctionnelle et testée plusieurs fois.
- Unifier l'utilisation des vis autant que possible.
- Bien lire le cahier des charges pour éviter des erreurs basiques dans la conception de la fusée.

6. Conclusion

La participation à C'Space 2024 a été une expérience enrichissante et formatrice, marquée par un processus d'apprentissage intense sur une période de neuf mois. Ce projet a non seulement permis de mettre en pratique nos connaissances techniques en conception et lancement de fusées, mais a également renforcé nos compétences en travail d'équipe et en communication. Chaque étape, depuis la conception de la fusée jusqu'au lancement, a été jalonnée de défis qui ont exigé une réflexion critique et des ajustements en temps réel.

Les leçons tirées de cette aventure sont variées, allant de l'importance de la planification organisationnelle à la nécessité d'une intégration efficace des systèmes électroniques. L'expérience a mis en lumière la nécessité de prêter attention aux détails, tels que la robustesse des composants et la précision des assemblages, afin d'assurer le succès du lancement. De plus, le soutien mutuel au sein de l'équipe et la coordination quotidienne ont été des éléments clés pour suivre l'avancement du projet.

En somme, cette première participation à C'Space a été une opportunité inestimable d'apprentissage et de développement, nous préparant ainsi à de futurs projets spatiaux. Les compétences acquises et les connaissances approfondies nous guideront dans nos prochaines initiatives, renforçant notre engagement envers l'innovation et l'excellence.