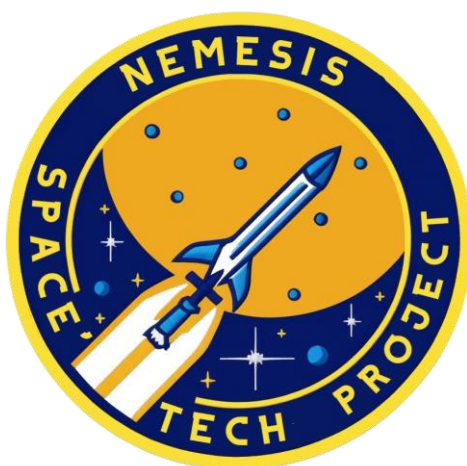




Rapport de fin de projet

Némésis



Martin COGNEAU

Valentine FRANCK

Élève PEIP2, Polytech Orléans

Élève ingénieure 3A TEAM, Polytech Orléans

Année universitaire

2024-2025



Remerciements

Ce projet n'aurait pas pu être réalisé sans l'aide de nombreuses personnes et collaborateurs. Nos premiers remerciements reviennent à toute l'équipe du projet Némésis pour son investissement dans le projet.

Nous souhaitons aussi remercier l'équipe du projet INDRA, projet qui a servi de base pour Némésis

Nous souhaitons remercier tous les membres de l'association de Space'Tech Orléans qui ont pu nous aider lors de la réalisation de ce projet.

Nous souhaitons remercier Christian Savatier-Dupré ainsi que l'entreprise MCS pour les différentes pièces qu'il nous a fournies, ainsi que pour son prêt d'un véhicule pour transporter notre matériel jusqu'à Tarbes.

Nous remercions Planète Sciences et le CNES pour l'organisation de ce fabuleux évènement et surtout pour le suivi technique régulier tout au long du projet.

Nous remercions nos partenaires que sont le CROUS Orléans-Tours, l'université d'Orléans et RS component pour leurs aides sans lesquelles ce projet n'aurait jamais vu le jour.

Nous remercions l'école Polytech Orléans pour la mise à disposition de ses locaux pour réaliser nos projets.



Sommaire

Remerciements	2
Table des illustrations	4
Introduction	5
1-Description mécanique.....	6
1-1 Aperçu général	6
1-2 L'ogive.....	7
1-3 La partie électronique.....	7
1-4 Système de récupération	9
1-5 Logement moteur	9
2-Description électronique	10
2-1 Aspect général	10
2-2 La carte séquenceur.....	11
2-3 La carte alimentation.....	12
2-4 La carte expérience	13
3-Code	14
4-Expérience.....	15
5-Analyse de l'expérience	17
Conclusion.....	20



Table des illustrations

Figure 1 : Schéma global de la structure interne	6
Figure 2 : Mise en plan global.....	6
Figure 3 : Mise en plan rack électronique	8
Figure 4 : Schéma global électronique	10
Figure 5 ; Schéma PCB séquenceur	11
Figure 6 : Schéma PCB IHM séquenceur	11
Figure 7 : Schéma PCB alimentation	12
Figure 8 : Schéma PCB expérience.....	13
Figure 9 : Mise en plan expérience	16
Figure 10 : Photo masse morte.....	16
Figure 11 : Graphique du roulis en fonction du temps	17
Figure 12 : Graphique roulis en fonction du temps centré.....	18
Figure 13 : Graphique de la puissance moteur en fonction du temps	18



Introduction

Ce rapport présente le projet de fusée expérimentale Némésis réalisé par des membres de l'association Space'Tech Orléans. Némésis embarque comme expérience un contrôle de roulis à l'aide d'un volant inertiel. Némésis est la continuité d'un projet de l'association, le projet INDRA qui est un projet de fusée expérimentale avec la même expérience que Némésis. INDRA est un projet qui n'a pas eu l'occasion de voler lors du C'Space 2024 dû à un rouge météo. Némésis est donc l'amélioration des systèmes d'INDRA pour avoir une fusée plus performante.

Némésis était mené par seulement deux membres, un s'occupant de la partie mécanique, l'autre de la partie électronique. Le projet s'est déroulé en 1 an avec un vol lors du C'Space 2025.



1-Description mécanique

1-1 Aperçu général

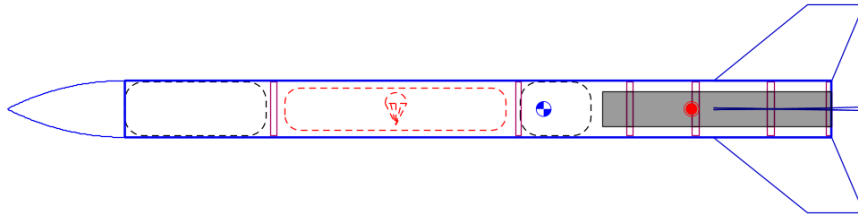


Figure 1 : Schéma global de la structure interne

Némésis est une fusée en peau porteuse aluminium dont le tube fait 2m de long pour un diamètre de 120mm extérieur avec 2mm d'épaisseur. Une bonne partie du tube a été usinée au laser pour avoir un alignement des trous presque parfait. Les ailerons sont faits en aluminium 2mm d'épaisseur. Ils sont montés serrés sur le tube avec des fixations.

La structure interne de la fusée se décompose en 5 parties : La coiffe/La partie électronique/
La case parachute/L'expérience/L'emplacement moteur

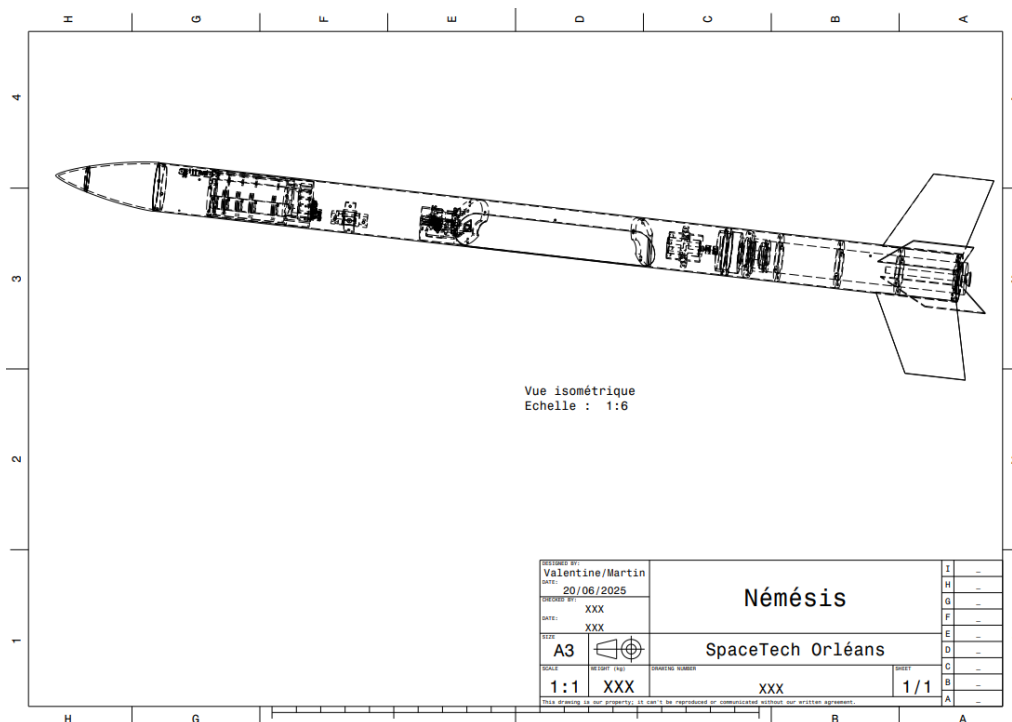


Figure 2 : Mise en plan global



1-2 L'ogive

La coiffe est imprimée en PLA en 2 parties collées à l'époxy. Elle est réalisée selon le principe de l'ogive de Von Karman. Elle est directement fixée à la peau grâce à des inserts et des vis. Pour les prochains projets nous imprimerons la coiffe en PETG. Dans le but d'avoir une coiffe plus résistante à la chaleur même sans peinture claire.

1-3 La partie électronique

Nous avons opté pour un rack électronique unique. Rack sur lequel l'ensemble des cartes électroniques sont fixés ainsi que les piles. C'est la partie qui a demandé le plus de prototypes et de réflexion. Sur le projet INDRA nous avons fait aussi un rack électronique, cependant il n'était pas adapté à être démonté et remonté. Ce qui nous a posé des problèmes lors des manipulations du rack. Il a fallu prendre le temps de trouver un design efficace, pratique et compact. Dans la version finale les cartes IHM sont fixées directement à la peau pour avoir un accès plus facile aux commandes. Le rack possède des rainures sur les côtés pour ne pas avoir à démonter les cartes IHM pour démonter le rack. Sur le rack d'INDRA, le câble management n'avait pas été anticipé, ce qui a généré des difficultés d'intégration et de débogage. L'utilisation de nappes et de connecteurs HE10 a permis d'améliorer la fiabilité et de simplifier la gestion des câbles. Seuls les câbles d'alimentation et ceux reliant l'expérience restaient nécessaires. Pour les futurs racks, nous prévoyons de centraliser les alimentations afin de limiter les câbles traversants et, si possible, de regrouper les cartes électroniques en une carte unique, optimisant ainsi l'encombrement et la maintenance.

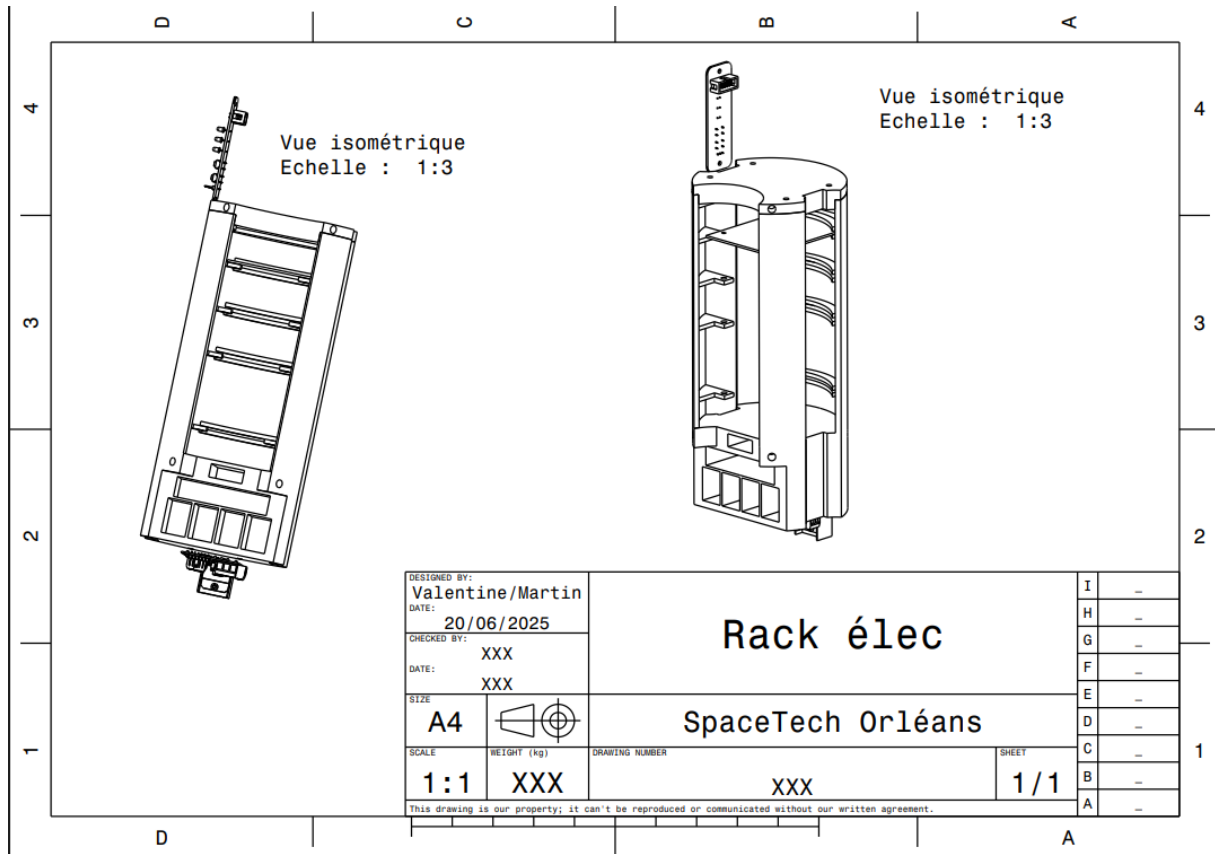


Figure 3 : Mise en plan rack électronique

Notre version du rack peut encore être amélioré, comme laissé plus de place entre chaque carte pour pouvoir démonter et remonter les différents connecteurs avec confort. Le rack a été imprimé PETG pour résister à la chaleur et limiter sa déformation.



1-4 Système de récupération

Le système de déclenchement d'ouverture de la trappe parachute est le même que sur plusieurs projets de l'association. Un servomoteur actionne un système de pignon crémaillère qui est relié à une fourche qui est logée dans une pièce fixée à la trappe. Le système est imprimé en PLA et PETG. La fourche est imprimée en PETG tungstène 75%.

Pour l'éjection de la trappe parachute nous avons 2 systèmes, le premier étant un ressort fixé sur la trappe qui lorsque la fourche libère la trappe, celui-ci permet l'éjection. Le second système étant de la mousse collée à la trappe en appui sur le parachute. Ces 2 systèmes permettent une éjection franche sans avoir besoin d'engouffrement d'air pour libérer le parachute.

Pour le parachute en lui-même nous avons fabriqué un parachute cruciforme de 2m². Nous avons appris de nos erreurs de l'an passé et fabriqué un parachute résistant en faisant des renforts avec de la sangle de sac à dos. Les suspentes sont accrochées grâce à des nœuds de chaise. La trappe parachute est accrochée directement sur le parachute.

La suspente principale est faite en sangle de sac à dos et est cousue à l'émérillon. Elle est fixée à la peau par un nœud de chaise.

1-5 Logement moteur

Le logement moteur se fait par des bagues en impression PLA. Au départ la reprise de poussée se faisait par le haut, cependant lors de la RCE3 nous avons le choix de faire par le haut ou le bas. Pour des raisons pratiques nous avons choisi de faire la reprise de poussée par le bas. La bague en tungstène était prévue pour un pro-75. Pour éviter d'adapter notre bague en tungstène à un pro-54 nous avons changé l'emplacement de la reprise de poussée.

2-Description électronique

2-1 Aspect général

Némésis est entièrement contrôlée par 6 cartes électroniques : 1 carte séquenceur/1 carte alimentation/1 carte expérience/2 cartes IHM/1 carte de puissance

En plus de ces cartes on retrouve 2 prises jack et une caméra SQ11.

Les cartes ont été modélisées grâce au logiciel Kicad.

Le design des cartes a été fait par le responsable mécanique pour qu'elles aient les bonnes dimensions pour le rack électronique. Le reste a été fait par le responsable électronique.

Schéma global

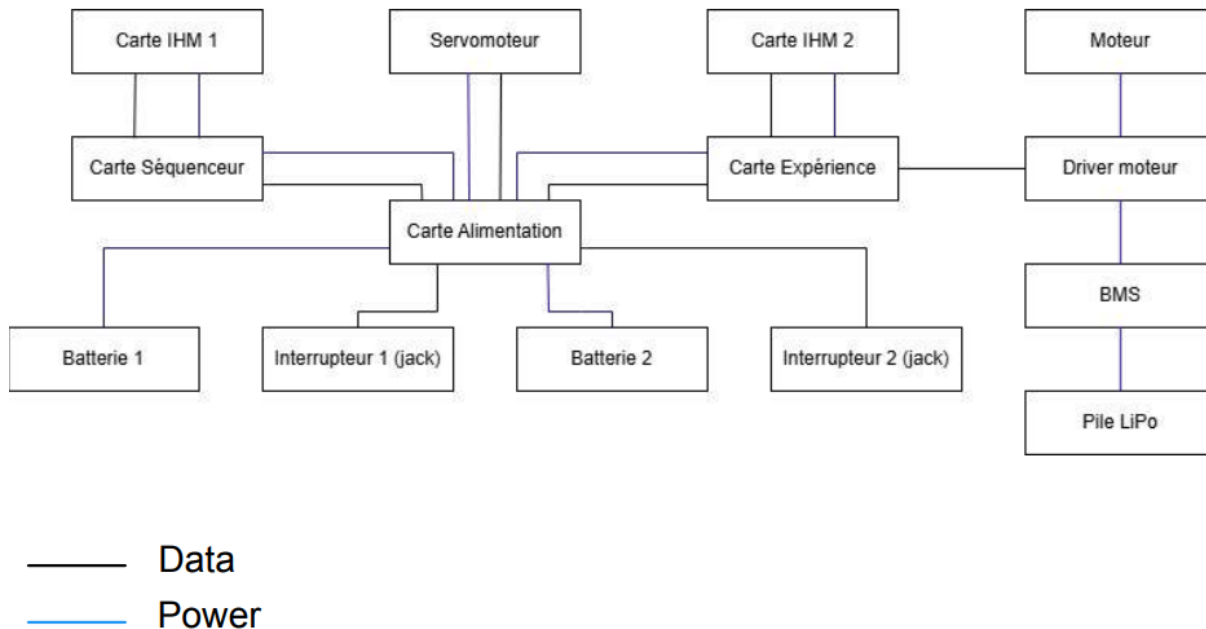


Figure 4 : Schéma global électronique

2-2 La carte séquenceur

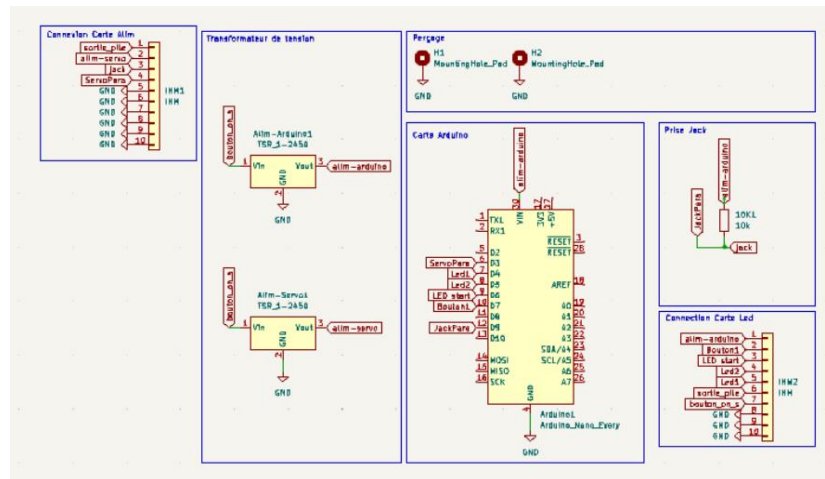


Figure 5 ; Schéma PCB séquenceur

La carte expérience contient seulement le nécessaire au fonctionnement du servomoteur. Elle contient 2 connecteurs, un relié à l'IHM, l'autre à la carte alimentation.

La carte IHM contient 3 LED, 1 bouton on-off et un bouton poussoir.

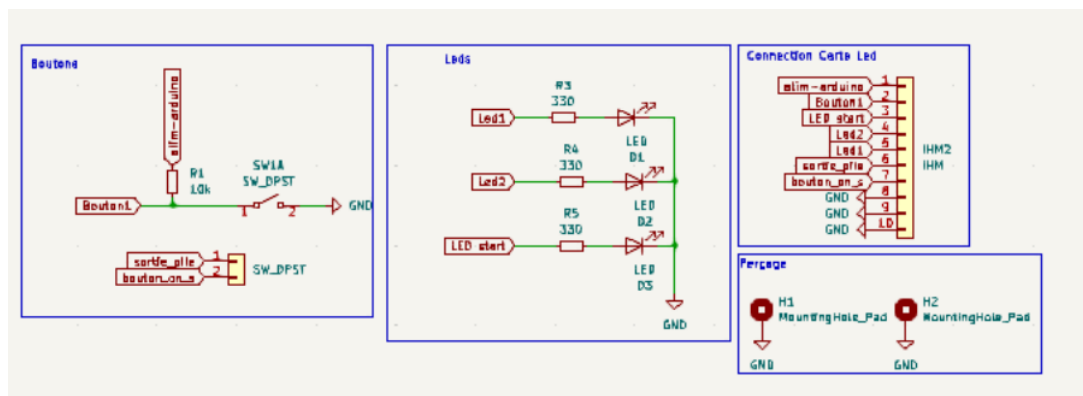


Figure 6 : Schéma PCB IHM séquenceur

2-3 La carte alimentation

Cette carte est nouvelle par rapport au projet INDRA. Elle permet de centraliser tout ce qui a besoin de connecteur : piles, servomoteur, prise jack etc. Elle contient des éléments nécessaires à la carte expérience et à la carte séquenceur.

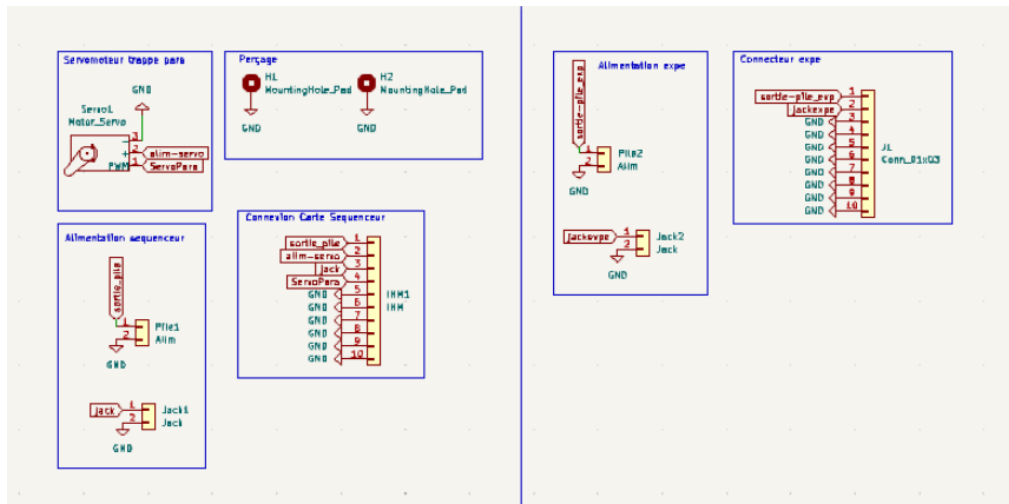


Figure 7 : Schéma PCB alimentation

2-4 La carte expérience

Cette carte contient tous les composants nécessaires au fonctionnement de l'expérience : IMU, carte SD... et elle est connectée à la carte IHM, la carte alimentation et la carte de puissance.

La carte IHM contient les mêmes éléments que la carte séquenceur.

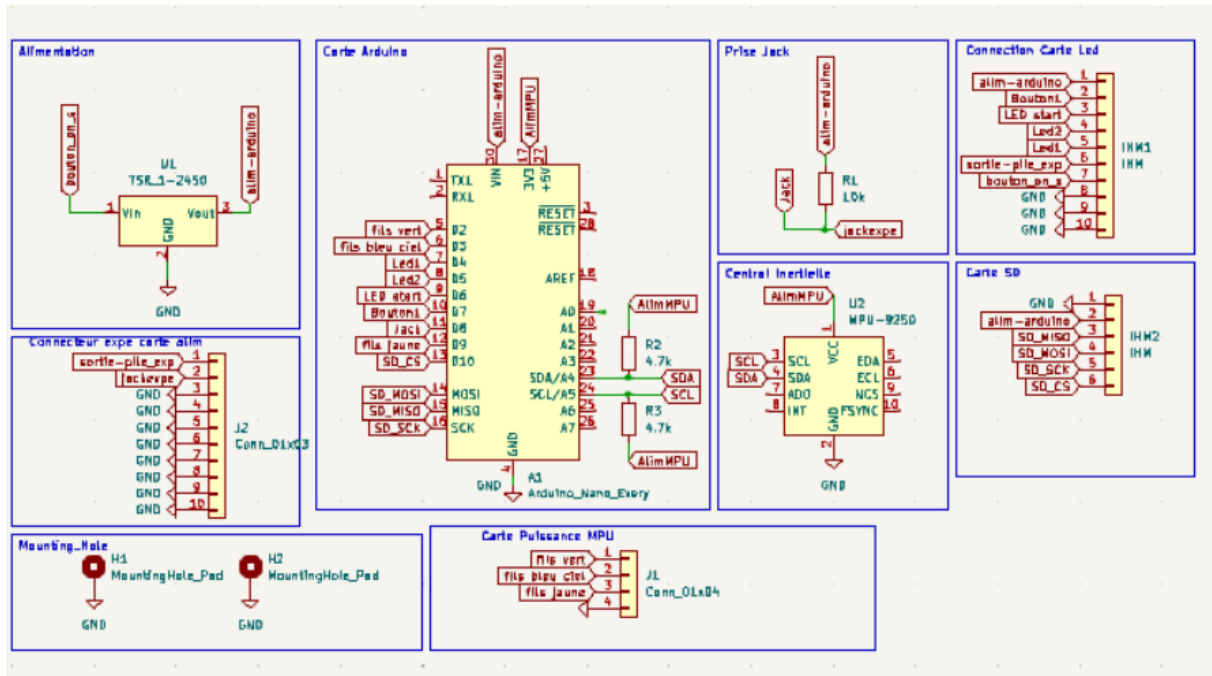


Figure 8 : Schéma PCB expérience



3-Code

Au niveau du code nous avons utilisé le logiciel Arduino. Nous avons 2 cartes Arduino Nano indépendantes. Une pour le séquenceur, l'autre pour l'expérience.

Pour l'activation du servomoteur cela se faisait par l'intermédiaire d'une minuterie. Le code du séquenceur était déjà prêt pour le projet INDRA. Il a été modifié et simplifié pour limiter les actions nécessaires avant le vol. Dans sa version finale, dès l'allumage, le servomoteur était en position fermée. Pas d'actions nécessaires avant le vol sur cette carte. Cela permettait que si en vol la carte venait à s'éteindre et à se rallumer pour X raisons, la trappe resterait fermée. Par exemple, si on venait à allumer la carte accidentellement pendant le transport, pas de risque d'éjection de la trappe car la manipulation pour ouvrir était soit la minuterie lors du décrochage de la prise jack, soit appuyer sur le bouton poussoir lors de l'allumage de la carte. Si en vol la carte venait à s'éteindre et se rallumer, il y aurait un décalage de la minuterie mais la trappe s'ouvrirait quand même.

Pour l'expérience, le code était plus complet car il devait gérer l'expérience en elle-même ainsi que l'écriture des données sur carte SD. Il se base également sur une minuterie pour l'activation et l'arrêt de l'expérience. Pour gérer l'expérience, on récupère les données de l'IMU et en fonction de sa valeur va envoyer une puissance au moteur pour faire tourner proportionnellement et dans un sens le volant inertiel. La grande nouveauté de ce code par rapport à celui d'INDRA c'est l'ajout du module de carte SD pour enregistrer les données de vol, les données de l'IMU et les données envoyées au driver moteur.



4-Expérience

Némésis comprenait une expérience de contrôle du roulis à l'aide d'un volant inertiel. Comme il s'agissait de la continuité du projet INDRA, qui n'avait pas pu être lancé l'année précédente, cette expérience a été reprise avec quelques modifications.

Les pièces mécaniques de l'expérience sont identiques à celles utilisées sur INDRA, à l'exception d'un élément supplémentaire : un coupleur. L'équipe INDRA avait en effet constaté que, lors de l'intégration de l'expérience dans le corps de la fusée, l'activation était difficile. Ce problème provenait d'un défaut d'alignement des trous de fixation, créant un léger angle entre le moteur et la masse morte. Pour pallier ce problème, le responsable mécanique a ajouté un coupleur afin de transmettre les efforts malgré un décentrage.

L'expérience se compose donc d'un bloc moteur assurant le maintien du moteur en place. L'axe du moteur est relié à la masse morte par l'intermédiaire du coupleur. Cette masse, de 2 kg et réalisée en alliage de fer, repose sur un roulement à billes conique maintenu dans une bague en acier, elle-même collée à une pièce imprimée en tungstène qui servait initialement de bague de reprise de poussée. La masse morte est en outre entourée d'un second roulement à billes. L'ensemble est entraîné par un moteur électrique, alimenté par une batterie LiPo offrant une autonomie théorique d'environ 3 heures.

La liaison entre le moteur et la masse morte se faisait initialement par une clavette, en contact ponctuel avec une rainure usinée dans la masse. Ce dispositif représentait une solution de transmission du couple, mais il présentait plusieurs inconvénients. Le premier concernait la durabilité de la clavette. Réalisée en PLA, elle s'avérait trop fragile. Elle a ensuite été réimprimée en tungstène, matériau plus résistant, ce qui a permis de résoudre partiellement ce problème. Le second concernait l'alignement entre l'ensemble moteur-clavette et la masse morte. En cas de défaut, le moteur se bloquait.

C'est ce défaut d'alignement qui a conduit à la disqualification de l'expérience lors du C'Space 2024. La contrainte de fixation du moteur était trop forte, ne laissant pas suffisamment de liberté pour conserver un alignement constant entre l'axe et la rainure. Le moteur se retrouvait alors bloqué et ne pouvait pas fournir le couple nécessaire pour entraîner la masse.

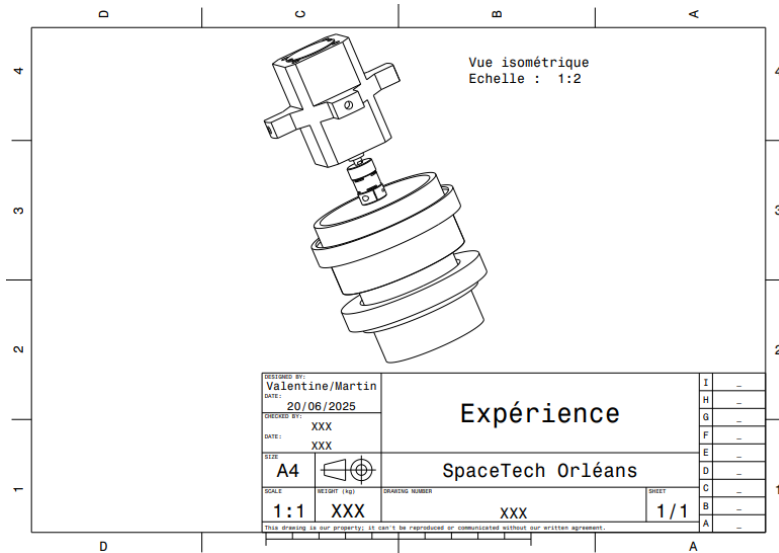


Figure 9 : Mise en plan expérience



Figure 10 : Photo masse morte



5-Analyse de l'expérience

D'après les données recueillies, le volant inertiel s'est bien activé, dans un sens puis dans l'autre. D'après les données de l'IMU le roulis a bien été limité. Néanmoins il n'a pas été totalement annulé. Ceci était à prévoir par rapport à notre programme. Comme expliqué nous n'avons pas encore les connaissances pour réaliser un PID fonctionnel. C'est pourquoi nous ne pouvions pas annuler le roulis, juste le limiter à des valeurs proches de 0. C'est ce qu'on peut voir sur nos données.

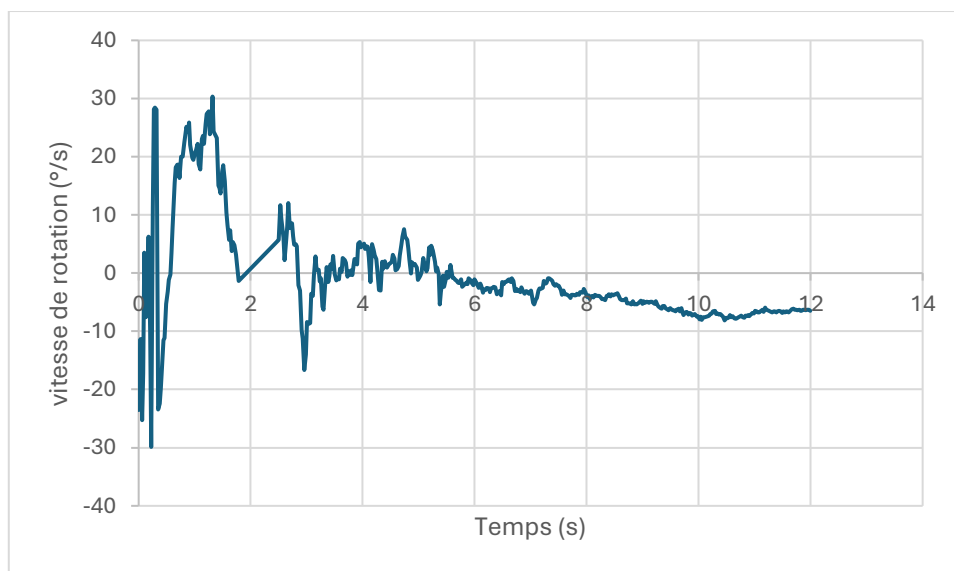


Figure 11 : Graphique du roulis en fonction du temps

Le volant, en théorie, s'active à partir de 2, 5 s. C'est à partir de ce moment-là que le roulis commence à diminuer. La plage d'activation se trouve lorsqu'on a une rotation inférieure et supérieure à $-10^{\circ}/s$ et $10^{\circ}/s$.

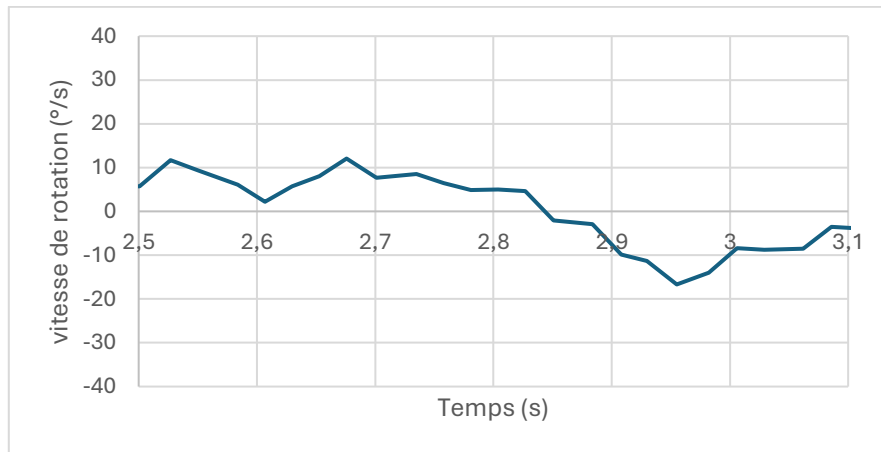


Figure 12 : Graphique roulis en fonction du temps centré

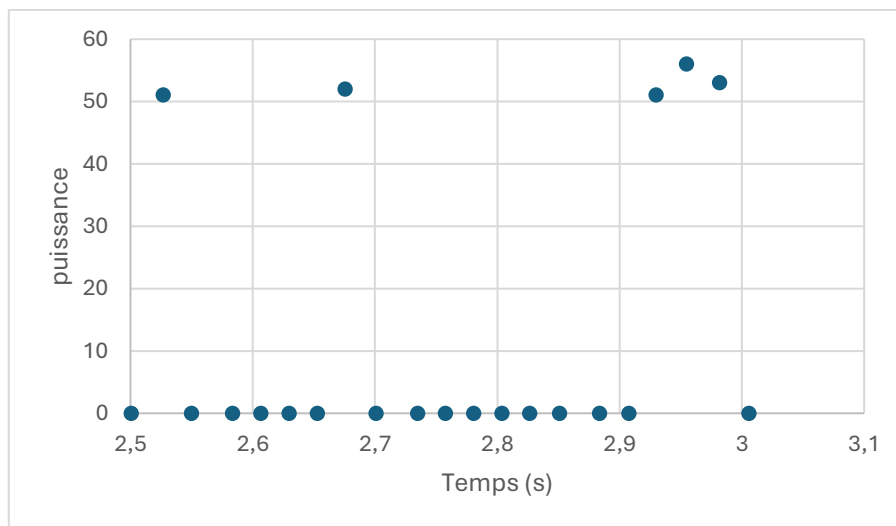


Figure 13 : Graphique de la puissance moteur en fonction du temps

On peut voir la corrélation entre l'augmentation du roulis et la puissance envoyée au moteur. Ce qui montre que le programme prenait bien en compte les différentes valeurs de roulis pour adapter la vitesse de rotation du volant inertiel. On remarque aussi dans les données le changement de sens de rotation du volant inertiel vers 3 s. C'est là où le roulis qui était négatif devient positif.

Nous avons réalisé des tests pour vérifier le fonctionnement de notre système. Cependant les plages d'activation n'étaient peut-être pas assez affinées pour garantir le succès de l'expérience. On remarque que vers la fin les valeurs augmentent sans dépasser la plage d'activation. Ce qui prouve que l'activation du volant agit bien sur le roulis et que sans le dispositif celui-ci augmente. En réduisant la plage d'activation, cela pourrait permettre de réduire encore le roulis de la fusée.



De plus, nous avons pu récupérer des photos de notre vol prises en rafale. On remarque que dès la sortie de rampe la fusée présente bien un roulis, celui qui permet l'activation du volant. Puis sur les images la fusée reste à peu près fixe. Soit la fusée tourne aussi rapidement que la prise de photo, ce qui expliquerait son immobilité. Soit elle est bien immobile sur son axe de rotation. Une fois le dispositif éteint, on remarque visuellement que la fusée change de position.

Nous avons essayé d'analyser d'autres sources visuelles, celles-ci ne sont pas exploitables.

D'après les données récupérées et les images de vol, nous avons tendance à conclure que l'expérience a fonctionné.

Pour garantir un meilleur système il faudrait augmenter la précision des capteurs (IMU) et utiliser un PID.



Conclusion

Malgré un effectif réduit, Némésis a rempli ses objectifs : un vol nominal avec l'expérience active. Nous avons pu concevoir, fabriquer et intégrer une fusée complète, en assurant un vol lors du C'Space 2025.

L'expérience embarquée a donné des résultats encourageants : bien que le roulis n'ait pas été totalement annulé, il a été significativement limité, ce qui valide le principe du dispositif. L'enregistrement des données de vol confirme que le système réagit en fonction des variations de roulis et adapte correctement la vitesse et le sens de rotation du volant. Ces résultats mettent en évidence la pertinence des améliorations apportées par rapport au projet INDRA.

Ce projet nous a permis de consolider nos compétences techniques, aussi bien en conception mécanique qu'en électronique et programmation.

Néanmoins, des pistes d'amélioration sont déjà identifiées : affiner les plages d'activation, intégrer un asservissement de type PID, améliorer la précision des capteurs et optimiser l'intégration mécanique du système. Ces évolutions permettront d'accroître la performance du dispositif et de se rapprocher d'un contrôle de roulis complet.