



Rapport – AstroNova

Paul-Louis DERCOURT

Yassine HMIDI

Méline PHAM-VAN-DOAN

Marie SANTANDER

Ruben SERRANO

Virgile TABASTE

Rayan TURKI



Année 2024-2025



Table des matières

Présentation générale.....	3
Remerciements.....	4
Conception	5
Mécanique	5
Fabrication de corps	5
Structure interne	6
Ejection	8
Système d'éjection par la coiffe	8
Electronique.....	12
Partie éjection	12
Partie expérience.....	14
Décisions prises à l'issus de la RCE 3.....	16
Electronique.....	16
Présentation initiale.....	16
Recentrage sur la PCB de récupération	16
Problèmes liés à l'alimentation	17
Système de bague cassante	17
Attache de la coiffe	18
Réservoir pneumatique	18
Déroulement du C'Space.....	19
Qualifications	19
Préparation au vol	20
Vol.....	20
Conclusion et perspectives	21



Présentation générale

Club :

Le projet AstroNova est porté par l'association EPF Astronomie. Cette association vise à promouvoir les activités autour de l'astronomie et du spatial au sein de l'école telles que des nuits d'observations, des conférences, des visites de musées et autres. Certains membres ont déjà participé aux éditions 2023 et/ou 2024 du C'Space 2023.

Projet :

AstroNova est une fusée expérimentale construite par 7 élèves de l'EPF et membres de l'association, inscrits en 3^e et 4^e année pour l'année scolaire 2024-2025. Notre projet vise à développer une mini-fusée avec éjection pneumatique du parachute par la coiffe.

Expérience :

L'objectif de l'expérience embarquée par la fusée AstroNova est de tester un système d'éjection pneumatique du parachute par la coiffe. Ce système utilise un vérin et des bagues pour guider le parachute vers la sortie. Cela nous évitera d'utiliser une trappe latérale et de développer le savoir-faire nécessaire pour, à terme, viser une fusée supersonique au sein de l'association.

Justification du propulseur :

Au vu du poids atteint l'année précédente sur d'autres projets de minif de l'Association EPF Astronomie, le propulseur Pandora Pro24-6G BS est suffisant.

Membres :

Yassine HMIDI, Virgile TABASTE, Ruben SERRANO, Méline PHAM-VAN-DOAN (cheffe de projet), Rayan TURKI, Paul-Louis DERCOURT et Marie SANTANDER



Remerciements

Avant de débiter ce rapport, nous souhaitons exprimer notre gratitude à toutes les personnes et organisations qui ont rendu ce projet possible.

Tout d'abord, nous remercions chaleureusement l'organisation du **C'Space, Planète Sciences, le CNES ainsi que tous les bénévoles**, et en particulier les **suiveurs**, qui permettent à des étudiants comme nous de se lancer dans des projets d'envergure tout en garantissant la sécurité de chacun. Sans leur engagement et leur accompagnement, de tels projets n'auraient jamais pu voir le jour.

Nous adressons également nos remerciements à **notre école, l'EPF**, ainsi qu'à **Mme Garceran, directrice**, et **M. Couteaux, son adjoint**, pour leur soutien et leur confiance, notamment à travers le financement de ce projet.

Un grand merci également à l'**association EPF Astro**, qui nous a encadrés et accompagnés tout au long de ce projet, ainsi qu'à **notre enseignant Thomas Lisembard**, pour son aide précieuse et ses conseils techniques.

Nous tenons aussi à remercier nos **sponsors : RS, Sonatronic, ROBOTmaker et Sicomin**, dont l'aide précieuse nous a permis de concrétiser la conception et la réalisation de notre fusée.

Enfin, nous remercions sincèrement **toute l'équipe** pour sa motivation, sa persévérance et son esprit de collaboration, qui ont permis de mener ce projet jusqu'à son aboutissement et sa réussite.

Mention spéciale à l'**appartement de Paul-Louis**, qui s'est transformé en véritable *techlab bis*, ainsi qu'à nos deux pilotes, **Yassine et Virgile**, pour leur conduite exemplaire.



Conception

Mécanique

Fabrication de corps

➤ **Description du corps (matériaux, dimensions)**

Après dimensionnement, nous avons choisi pour notre fusée, un corps de diamètre 80mm et de longueur 1m20.

Pour la fabrication du corps, on s'est penché sur un corps en matériau composite : fibres de verre et résine d'époxy. Nous avons dans un premier temps découpé 1 demi-feuille de fibres de verre de largeur 1m et de longueur 1m20 afin de pouvoir réaliser 5 passages de la feuille de fibre de verre sur toute la longueur du corps. Nous avons obtenu une masse totale des fibres de 165g. Etant donné que pour 100g de fibres de verre, il faut 100g d'époxy et 39g de durcisseur, c'est ainsi, que l'on a préparé notre résine en mélangeant près de 165g d'époxy avec 64g de durcisseur.

A été sélectionné le durcisseur SD 2803. Il possède un bon compromis entre le temps de travail et sa performance. En effet, son temps d'exothermie est d'environ 2h10 à 20°C, ce qui permet de laisser le temps de bien stratifier sans précipitation. Il est facile à appliquer à la main grâce à sa viscosité moyenne qui est aux alentours de 700 mPa.s. De plus, un point important pour nous, étudiant que nous sommes, est que cette polymérisation entre le durcisseur SD 2803 et la résine ne nécessite pas obligatoirement de post-cuisson, bien que ses propriétés mécaniques seraient améliorées si le tout était chauffé à 60°C.

Ainsi, le système époxy SR 1700 (résine) / SD 2803 (durcisseur) est un bi composant idéal pour la stratification manuelle, offrant une bonne maniabilité, un faible retrait, et une excellente cohésion fibre-résine, sans nécessiter de post-cuisson.



Figure 1: Photographie de l'époxy utilisée

<https://www.boutique-resine-epoxy.fr/resine-revetement-de-sol/260-resine-epoxy-sr-434-durcisseur-sd-4341.html>



➤ **Justification des choix techniques**

Nous avons choisi de réaliser notre corps en époxy et fibres de verre au vu des avantages que l'ensemble confère. La fibre de verre possède une résistance mécanique élevée, particulièrement en traction et en flexion. Quant à la résine époxy, elle permet d'assurer une excellente cohésion et rigidité avec la fibre de verre, formant ainsi un matériau composite intéressant. Ce matériau offre en surplus un bon rapport masse/résistance (très utile pour participer à la légèreté de la fusée), une facilité de mise en œuvre (époxy applicable avec le pinceau) ainsi qu'un faible retrait au séchage contrairement à la résine polyester. En effet, l'époxy ne se rétracte presque pas en polymérisant, ce qui limite les risques de fissuration.

➤ **Description des méthodes de fabrication**

Afin de nous protéger au mieux lors de la fabrication du corps de notre fusée, nous avons utilisé des masques de protection et des filtres ABEK, ainsi qu'une blouse et des gants. Le but de se protéger est de prévenir les risques liés à l'exposition aux produits chimiques, notamment les émanations de résine époxy et de durcisseur, qui peuvent être irritantes ou toxiques pour la peau, les yeux et les voies respiratoires.



Figure 2: Photographie de masque de protection porté lors de la fabrication du corps

<https://www.boutique-resine-epoxy.fr/accessoires-protection-securite/512-demi-masque-reutilisable-3m-6200.html>

Structure interne

➤ **Présentation de la structure interne**

La fusée peut être décomposée en 6 grandes parties : le bloc moteur, les ailerons, la partie électronique (PCB éjection et PCB télémétrie), la partie éjection pneumatique (bouteille, électrovanne et vérin), le compartiment parachute et la coiffe.

Nous avons opté pour un système d'éjection pneumatique de la coiffe de la fusée. Pour cela, nous utilisons une bouteille de Coca, choisie pour sa résistance supérieure à celle des autres bouteilles. Elle est préalablement mise sous pression avec de l'air comprimé à 8 bars. Cet air comprimé alimente un vérin pneumatique, qui déploie rapidement la tige du piston afin de générer la force nécessaire à l'éjection efficace de la coiffe.



L'ensemble — bouteille sous pression et vérin — est commandé par une électrovanne. Celle-ci permet de contrôler précisément le moment de l'éjection, qui intervient au point culminant du vol (apogée).

Concernant le compartiment parachute, ce dernier se situe juste au-dessus du vérin. La sortie de la tige du piston permet de casser la bague cassante et faire sortir de 5 cm le compartiment parachute et le parachute. Le parachute est relié à la coiffe et au corps grâce à des suspentes puis une allonge principale.

➤ **Justification des choix de structure**

Nous avons opté pour une peau porteuse avec structure interne pour notre fusée afin de faciliter l'accès à l'ensemble des composants internes. Cette conception permet une maintenance et des modifications plus aisées, notamment pour les éléments électroniques et pneumatiques. En cas de besoin d'ajustements ou de réparations, cette solution est plus pratique.

Afin de pallier le souci de flèche, nous avons choisi de rigidifier la structure en insérant des barres le long de la fusée. En effet, lors de la phase de réflexion, nous avons réalisé que la flèche de la fusée allait être particulièrement élevée. Pour pallier ce problème, nous avons décidé d'utiliser des barres en acier et en aluminium pour optimiser la répartition de la masse.

- Barres en Acier : Nous avons placé des barres en acier dans la partie basse de la fusée. L'acier, grâce à sa densité et sa résistance, permet de concentrer la masse dans la partie inférieure, améliorant ainsi la stabilité de la fusée (Stabtraj).
- Barres en Aluminium : Pour la partie supérieure, nous avons choisi des barres en aluminium. L'aluminium, plus léger que l'acier, permet de rigidifier la structure tout en respectant les contraintes de poids imposées par le cahier des charges. Cela nous aide à limiter la flèche requise sans compromettre la solidité de l'ensemble.

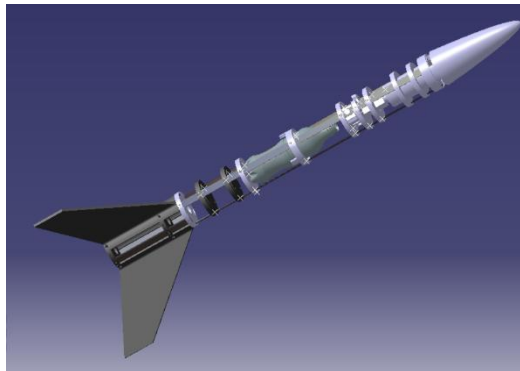


Figure 3: Vue globale de la modélisation de notre fusée sur CATIA V5



Ejection

Nous avons choisi d'expérimenter une éjection pneumatique du parachute par la coiffe de la fusée afin d'acquérir de nouvelles compétences techniques et ainsi pouvoir employer ce type d'éjection dans des fusées supersoniques.

Système d'éjection par la coiffe

➤ Choix du système d'éjection

Lors de la phase de conception de notre projet visant à séparer la coiffe du corps de la fusée, plusieurs solutions ont été envisagées. Chacune de ces idées ont été réfléchies afin de savoir si cela était faisable ou pas. Voici les solutions :

-L'une des premières solutions était de mettre en place un système de perçage de bonbonnes pour pressuriser le compartiment du parachute. L'idée était que la pressurisation forcerait l'éjection du parachute. Bien que théoriquement intéressante, cette solution s'est avérée trop complexe à mettre en œuvre, surtout pour une première tentative, notamment au niveau de l'étanchéité de la chambre.

-Puis, nous avons envisagé un système de fil de rétention entourant la coiffe. Une résistance chauffante serait utilisée pour détacher les fils au moment opportun, permettant ainsi la séparation.

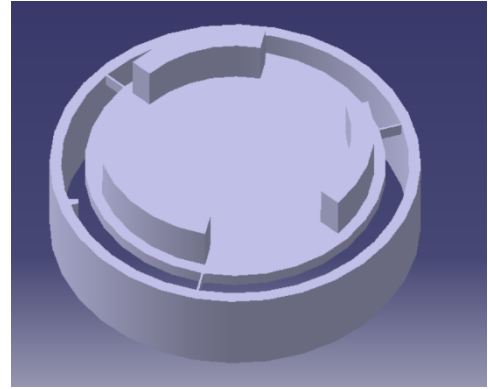
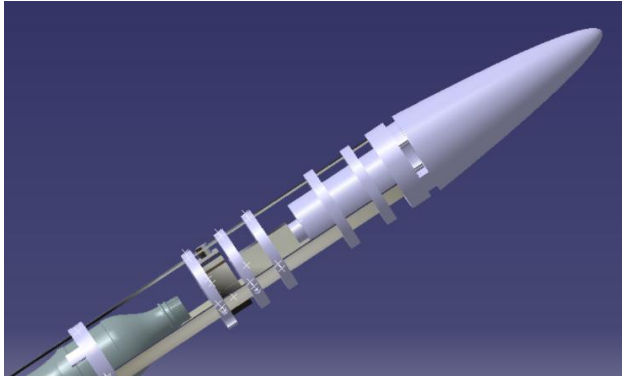
-Enfin, nous avons pensé à utiliser des ventouses magnétiques pour maintenir la coiffe en place jusqu'au moment de la séparation. Cependant, cette solution a été écartée en raison de son poids excessif, ce qui aurait pu compromettre l'équilibre et la performance globale de la fusée.

Après avoir examiné ces différentes options, nous avons consulté un suiveur du C'Space, qui nous a conseillé d'adopter un système utilisant un vérin pneumatique et de faire éjecter la coiffe à l'aide d'une ou plusieurs pièces cassantes. Cette solution présente plusieurs avantages, notamment une meilleure fiabilité et une complexité réduite par rapport aux autres propositions.

➤ Description du système d'accroche

Comme expliqué précédemment, nous avons réfléchi à plusieurs solutions pour libérer le parachute et nous avons décidé de garder la solution d'une pièce cassante.

Nous avons conçu une pièce en 3D, constituée d'un disque avec trois points d'accroche situés sur ses côtés. Ces accroches sont conçues pour être suffisamment robustes pour maintenir le parachute en place pendant le vol ainsi que la coiffe, mais aussi pour se casser net sous une force appliquée. Lorsque le vérin est activé, il délivre un coup sec sur le disque, ce qui entraîne la rupture des accroches et permet au parachute de se déployer. Ce système est vissé au sommet du corps de la fusée afin de maintenir la coiffe au corps et qu'il n'y ait pas de risque de détachement durant le vol.



Figures 4-5 : Vue globale du système d'éjection et du disque de casse relié à la coiffe

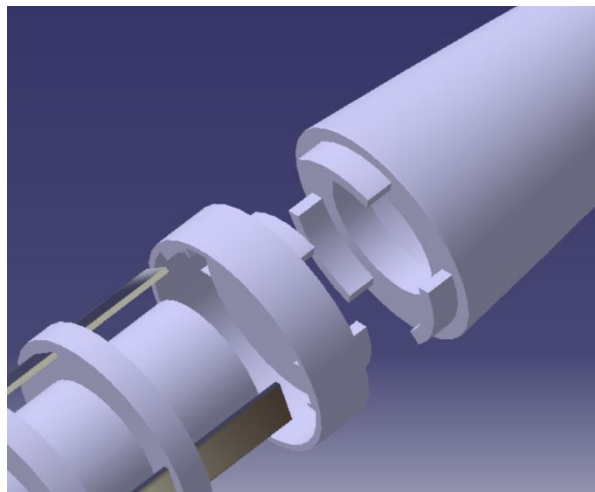


Figure 6 : Vue du système d'accroche de la coiffe au disque cassant (avec vis à implémenter)

➤ **Dimensionnement du parachute**

Le dimensionnement du parachute a été réalisé en suivant le stabtraj. Ainsi un parachute rond de 300mm de rayon extérieur et 29mm de rayon intérieur a été retenu. Il permet une descente à une vitesse de 10,4 m/s ce qui correspond bien à la plage de 5m/s à 15m/s. Le parachute est équipé de 6 suspentes et une longe principale. Les suspentes et la longe sont jointes par émerillon sur lequel les suspentes sont accrochées d'un côté et la longe de l'autre.



TRAJECTO

Trajectographie de fusée

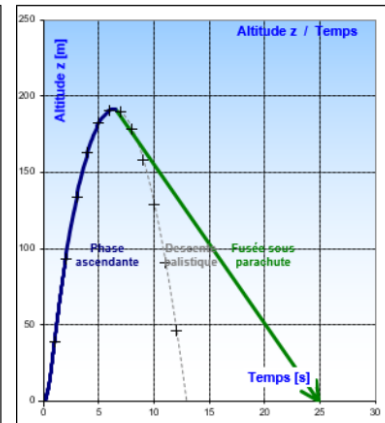
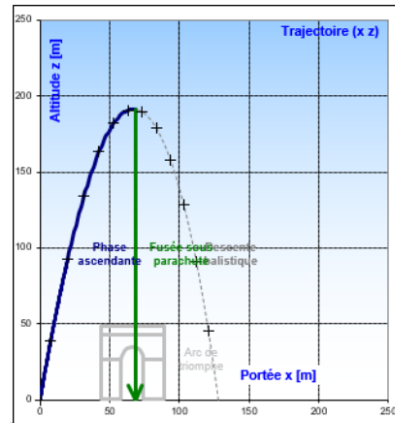
Remplir les cases jaunes

Nom	Fusée
Club	AstroNova
Matricule	EPF Astro
Masse totale	MF10
Propulseur	1.9589 kg
	Pandora (Pro24-6G BS)

Surface Réf.	Trainée Aérodynamique
Cx	0.006548 m ²
	0.6

Longueur	Rampe de Lancement
Élévation	2.5 m
Altitude	80 °
	0 m

	DescenteSousParachute
	Fusée
	0 satellite
Masse	1.8833 kg
Dépotage	N/A
Ouverture para	6.5 s
Type de para	Rond
Surface para	0.28 m ²
Cx parachute	1
Vitesse du vent	5 m/s
Vitesse descente	10.4 m/s
Durée descente	18 s
Durée du vol	25 s
Déport latéral	± 92 m



6/7/2025	Temps	Altitude z	Portée x	Vitesse	Accélération	Efforts
Sortie de Rampe				21.1 m/s		
Vit max & Acc max				62 m/s	113 m/s ²	
Culmination, Apogée	6.3 s	191 m	66 m	10 m/s		
Ouverture parachute fusée	6.5 s	191 m	68 m	10 m/s		18.1 N
Impact balistique	12.9 s	~0 m	128 m	55.2 m/s		2866 J

	Pour localiser la fusée
Couleur fuselage/coiffe	Brun/Orange...
Couleur parachute fusée	Rouge...

propu OK

Figure 5: Screenshot du stabtraj représentant la trajectoire de la fusée avec le parachute choisi

Rayon extérieur
300 mm
Rayon intérieur
29 mm
Surface para
0.28 m ²

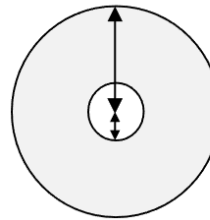


Figure 6: Dimensions du parachute

➤ Système pneumatique

Notre système d'éjection est actionné par une électrovanne qui délivre la pression du réservoir (bouteille en plastique) dans notre vérin pneumatique. La tige du vérin va alors pousser le compartiment du parachute contre le système d'attache qui va se briser, permettant ainsi à la coiffe de se détacher du corps et au parachute de sortir et se déployer.

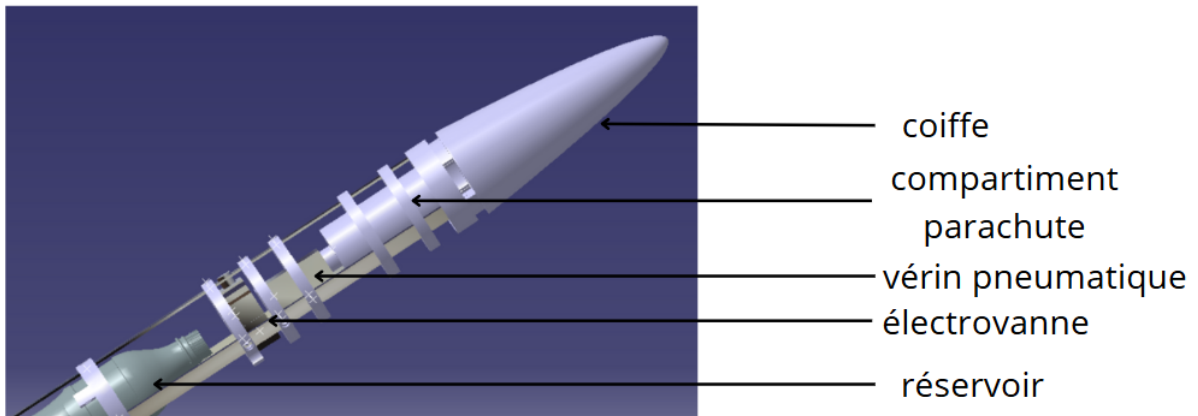


Figure 7: Représentation du système d'éjection pneumatique par la coiffe

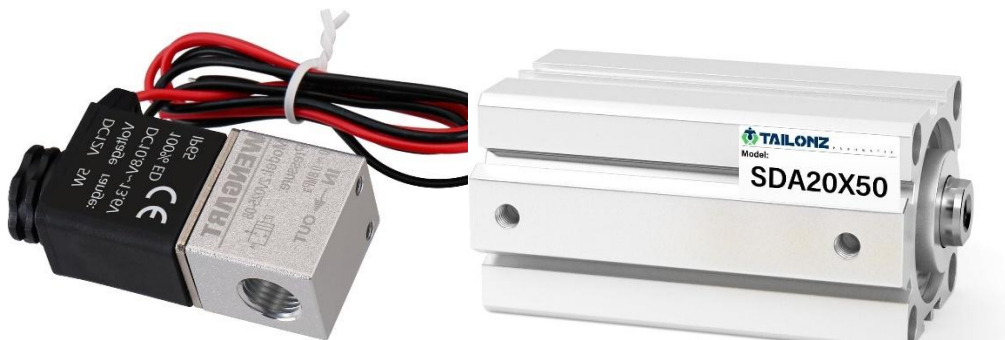


Figure 8: A droite, photographie du vérin pneumatique et à gauche, photographie de l'électrovanne constituant le système d'éjection pneumatique



Electronique

Partie éjection

➤ Description

L'éjection de la coiffe est commandée par une électrovanne pilotée à l'aide d'une carte Arduino Nano. Une pile 9 V alimente l'ensemble du circuit, comprenant à la fois la carte Arduino et l'électrovanne. Un interrupteur général permet la mise sous tension du système.

Un ruban LED est utilisé comme indicateur d'état : le vert signale que le système est sous tension, l'orange indique que la minuterie est en cours, et le rouge que l'électrovanne est ouverte, ce qui correspond à l'éjection.

Le déclenchement de la minuterie se fait automatiquement lorsqu'un jack est débranché. Ce signal est détecté par l'Arduino, qui lance alors une minuterie via une boucle, au bout de laquelle l'électrovanne est activée.

L'électrovanne, en s'ouvrant, libère la pression d'un circuit pneumatique, permettant ainsi l'éjection de la coiffe.

➤ KICAD

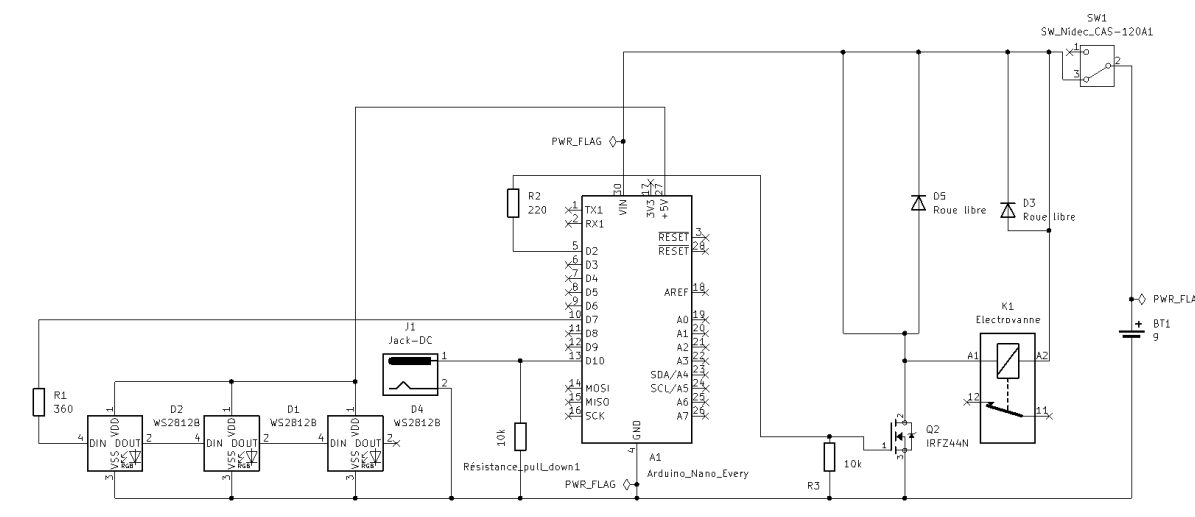


Figure 9 : Schéma électronique de l'éjection

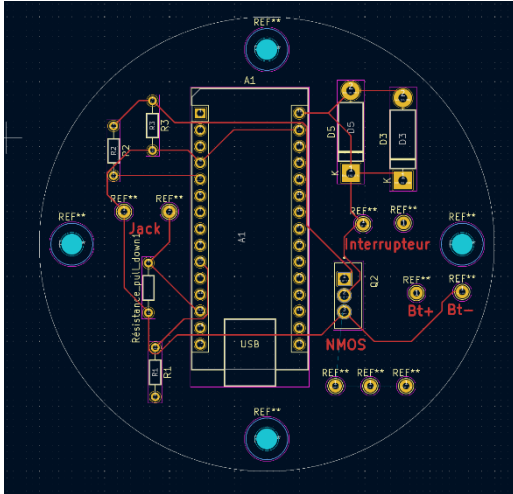


Figure 11: Schéma PCB Ejection

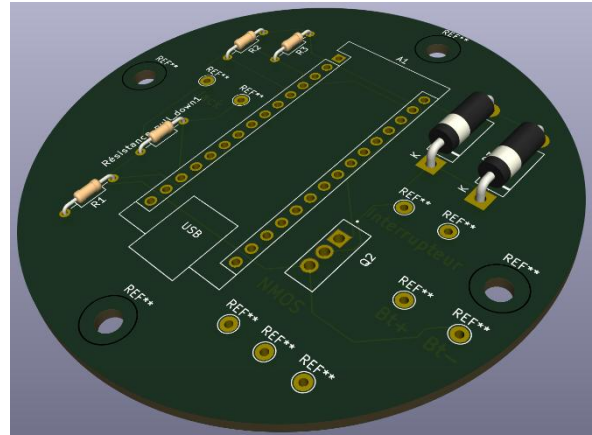


Figure 10: Visualisation 3D PCB Ejection

➤ **Justificatif choix des composants**

La carte Arduino Nano a été choisie pour sa compacité, sa faible consommation énergétique et sa large compatibilité avec les capteurs et actionneurs nécessaires. Son format réduit permet une intégration facile dans nos systèmes embarqués.

L'alimentation est assurée par une pile 9V, facile à intégrer et suffisamment puissante pour alimenter à la fois l'Arduino et l'électrovanne sur une courte durée.

L'électrovanne a été sélectionnée pour sa capacité à fonctionner sous 9V et à résister à la pression pneumatique du système. Elle permet une commande simple et efficace de l'éjection en ouvrant un circuit pneumatique ou mécanique à l'instant souhaité (ON/OFF). Le modèle retenu est normalement fermé, garantissant que l'éjection n'a lieu qu'en cas de commande explicite.

Le ruban LED joue un rôle essentiel de retour visuel : il permet à l'équipe de savoir si le système est sous tension, si la minuterie est en cours, ou si l'électrovanne est activée.

Enfin, le jack de déclenchement permet d'automatiser le début de la séquence lors du lancement de la fusée.



Partie expérience

➤ Description de l'expérience

La fusée sera équipée d'un système de télémétrie embarqué conçu pour transmettre et enregistrer en temps réel des données de vol. Ce système électronique se compose d'un module LoRa, d'un GPS, d'une centrale inertielle (IMU), d'un Arduino Nano et d'un module de carte SD.

L'objectif principal de ce dispositif est de :

- Transmettre en temps réel les données de position (latitude, longitude, altitude) et les accélérations mesurées par la centrale inertielle à une station au sol via le lien radio LoRa. Cette station au sol, elle aussi équipée d'un module LoRa et d'un Arduino Nano, réceptionnera les informations.
- Afficher ces données en direct sur une interface web locale, accessible sans connexion Internet, permettant un suivi visuel du vol par l'équipe au sol.

En parallèle, toutes les données seront enregistrées localement sur carte SD pour permettre une analyse complète et détaillée du vol après récupération de la fusée.

➤ Étalonnage des capteurs

Le MPU6050 est une centrale inertielle équipée d'un gyroscope qui renvoie la vitesse angulaire en °/s, elle est utilisée pour avoir des informations sur la rotation de la fusée, et d'un accéléromètre qui calcul l'accélération en m/s^2 sur x, y et z. Dans le but d'interpréter ces valeurs, il est nécessaire de le calibrer correctement.

Pour ce faire, le capteur est positionné à plat et immobile. Puis, on mesure 1000 fois les valeurs de l'accéléromètre et du gyroscope. On calcul la moyenne de chaque axe, les offsets ainsi calculés sont soustraits à chaque lecture afin d'éviter la dérive.

Dans le cadre de la fusée, les capteurs seront initialisés au sol avant que la fusée ne soit positionnée sur la rampe de lancement.

➤ Justification du choix des composants et du système de récupération et transmission des données de télémétrie

Pour répondre aux besoins de notre système de télémétrie embarqué — à savoir la transmission fiable à distance, la mesure de la position et des accélérations, ainsi que l'enregistrement local des données, nous avons sélectionné les composants suivants, en tenant compte de leur rapport performance/coût.

- **Module LoRa : ZETA-20**

Le module ZETA-20 a été retenu pour assurer la transmission des données entre la fusée et la station au sol. Il fonctionne dans la bande ISM 868 MHz, avec une portée pouvant atteindre plusieurs kilomètres en champ libre, ce qui est adapté à notre altitude cible ainsi que la distance de la base de suivi au sol. De plus, son coût le rend accessible et il possède une faible consommation d'énergie.



- GPS : NEO-6M V2

Le module NEO-6M V2 est un GPS très répandu, compatible avec Arduino, offrant une bonne précision pour un coût réduit. Il fournit la position (latitude, longitude, altitude) avec une fréquence de mise à jour suffisante (1 à 5 Hz) pour le suivi de notre fusée.

- Centrale inertielle : MPU6050

Le MPU6050 combine un accéléromètre 3 axes et un gyroscope 3 axes, permettant d'obtenir à la fois des mesures d'accélération et d'orientation. Il est largement utilisé dans les projets de robotique et d'aéronautique amateur.

- Arduino Nano

Le microcontrôleur Arduino Nano est le cœur du système, gérant les capteurs, la communication LoRa et l'enregistrement sur carte SD. Il a été choisi pour sa taille compacte, sa faible consommation et sa compatibilité avec tous les modules utilisés.

- Module carte SD

Le module SD permet de stocker toutes les données du vol pour une analyse post-mission.

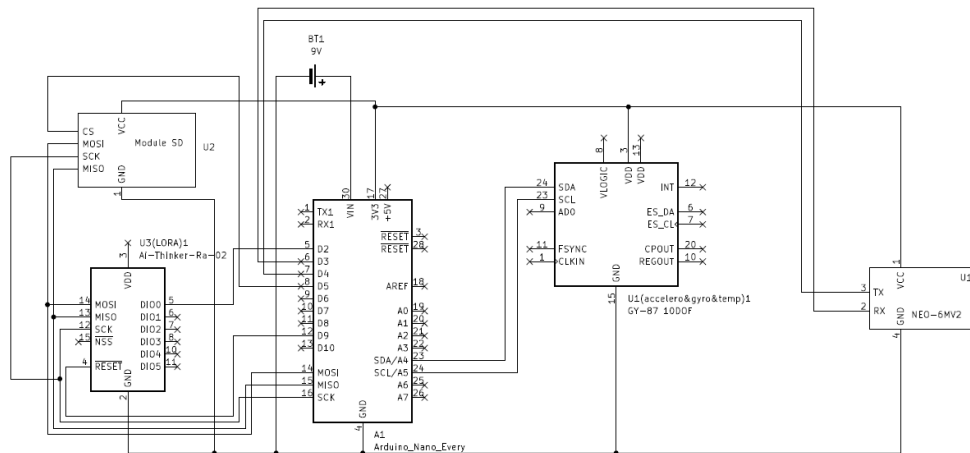


Figure 12: Schéma électronique de l'expérience

L'ensemble des composants a été sélectionné pour leur compatibilité entre eux, leur simplicité d'intégration, leur pertinence technique par rapport aux exigences du vol, et leur coût très compétitif. L'ensemble du système reste compact, léger, et capable d'assurer à la fois la transmission en temps réel et l'enregistrement local des données critiques du vol.



Décisions prises à l'issus de la RCE 3

Lors de la RCE3, plusieurs problématiques importantes ont été soulevées. Celles-ci nous ont amenés à revoir un certain nombre d'éléments de conception et d'intégration, notamment :

- le système de bague cassante,
- l'électronique et son intégration,
- l'alimentation,
- l'attache de la coiffe.

Nous avons été pré-qualifiés de justesse. Par conséquent, nous avons dû retravailler en profondeur plusieurs parties du système afin de préparer notre fusée pour le C'Space.

Electronique

Présentation initiale

Lors de la RCE3, nous avons présenté :

- une carte de récupération,
- une carte de télémétrie,
toutes deux montées sur breadboard.

Une première version de la carte de récupération avait été réalisée à la main sur plaque PCB. Cependant, elle a été endommagée car nous avons utilisé des câbles monobrins particulièrement fragiles. Sur recommandation, nous avons décidé de remplacer ces câbles par des conducteurs multibrins, plus résistants aux contraintes mécaniques et aux manipulations répétées.

Concernant la carte de télémétrie, nous avons rencontré des difficultés à la fois au niveau de l'émission et de la réception du signal. Étant donné la complexité des télécommunications et le temps restant avant le C'Space, il nous a été conseillé de mettre cette partie de côté et de concentrer nos efforts sur la récupération, prioritaire pour la qualification.

Recentrage sur la PCB de récupération

Nous avons donc abandonné le développement de la carte de télémétrie et recentré notre travail sur la PCB de récupération.

- Une première version imprimée a été testée avec succès, mais une piste s'est décollée après la première utilisation, empêchant tout second test.
- Ayant ainsi la preuve de la fonctionnalité du schéma, nous avons conçu deux nouvelles PCB manuelles, en intégrant des connecteurs JST pour améliorer la fiabilité et faciliter les branchements (piles, électrovanne, LED, interrupteur).

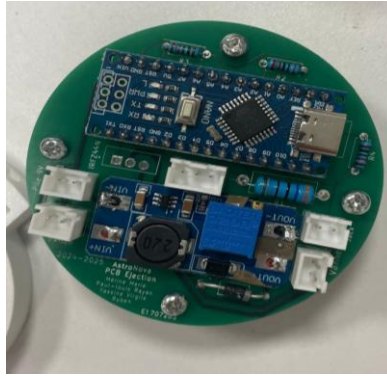


Figure 12: PCB de récupération

Problèmes liés à l'alimentation

Nous avons également identifié des problèmes d'alimentation de la carte d'éjection.

- L'ouverture de l'électrovanne générant un courant d'appel entraînant une chute de tension au niveau des piles, ce qui compromettait le fonctionnement.
- L'utilisation de piles au lithium 9V, capables de délivrer des courants plus élevés, avait été conseillée. Toutefois, ces piles étant coûteuses, nous n'avons pas pu nous en procurer pour des raisons budgétaires.
- Après plusieurs essais, nous avons retenu une solution plus économique et efficace : l'utilisation de deux piles rechargeables en parallèle, ce qui a permis de stabiliser l'alimentation et de corriger le problème.

Système de bague cassante

Le système de bague cassante que nous avons conçu était fonctionnel. Cependant, il présentait plusieurs limitations :

- les bagues étaient non réutilisables,
- leur fabrication nécessitait l'impression d'un grand nombre de pièces,
- le retrait des supports lors de l'impression était délicat et risquait d'endommager les bagues.

Afin de pallier ces difficultés, nous avons choisi de conserver le système de clips permettant de fixer la bague cassante aux barres de la structure interne.

Après plusieurs essais d'éjection, ce système s'est révélé fiable : la bague se déclipait correctement, même avec des pressions relativement faibles, tout en garantissant la séparation attendue.



Attache de la coiffe

Durant la RCE3, plusieurs solutions d'attache de la coiffe ont été testées.

- L'option la plus efficace s'est révélée être l'attache au niveau du parachute, car elle permettait de tirer celui-ci avec suffisamment de force pour assurer sa sortie et son déploiement.
- Cependant, pour la campagne du C'Space, il a été décidé de fixer le parachute directement à l'émerillon. Ce choix visait à éviter les risques de déséquilibre du parachute lors de son ouverture, assurant ainsi un déploiement plus stable.

Réservoir pneumatique

Les suiveurs de la RCE nous ont demandé de modifier notre réservoir pneumatique et de préparer plusieurs exemplaires d'avance pour le C'Space.

- Nous avons donc fabriqué quatre réservoirs supplémentaires.
- Leur étanchéité a été testée par des essais en extérieur d'une durée d'une heure.
- Ces tests ont montré que, après correction des défauts d'étanchéité initiaux, les réservoirs répondaient aux exigences.

Un schéma a été réalisé pour illustrer les résultats obtenus avant et après correction.

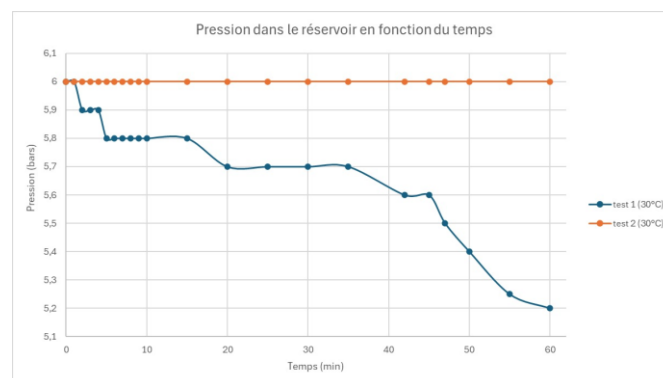


Figure 13: Graphique de la pression en fonction du temps dans le réservoir



Déroulement du C'Space

Nous nous sommes présentés au C'Space avec notre fusée entièrement intégrée et prête pour la phase de tests.

Qualifications

Les premières vérifications se sont déroulées sans difficulté.

Lors du test de résistance des ailerons, ceux-ci se sont révélés trop flexibles en raison du choix du matériau (PETG).

Nous avons interrompu les tests pour renforcer la structure : des barres en aluminium ont été ajoutées et fixées aux ailerons par vissage, améliorant considérablement leur rigidité.



Figure 14: Photographie de l'aileron avec renfort en aluminium

Après consolidation, la fusée a passé avec succès les tests d'ailerons puis les vérifications suivantes : flèche, compatibilité patin, centre de masse et stabtraj.

Les suiveurs ont cependant exprimé des réserves concernant la sécurité du réservoir de pression (fabriqué à partir d'une bouteille de soda). Ils auraient souhaité que nous effectuions des tests à trois fois la pression d'utilisation nominale, afin de démontrer un facteur de sécurité suffisant.



Préparation au vol

Suite à ces recommandations, nous avons modifié la chronologie de la récupération afin de déclencher le parachute avant l'apogée, maximisant ainsi les chances de déploiement.

La fusée a été déclarée qualifiée et programmée pour un vol le mercredi matin.

Étant donné la durée de notre chronologie, nous avons dû rester en tente pendant 30 minutes afin de pressuriser le réservoir et de réassembler la fusée juste avant le lancement.

Vol

Le vol s'est déroulé de manière nominale.

Le parachute s'est éjecté quelques secondes après l'apogée, ce qui est probablement dû à une légère surstabilité de la fusée.



Conclusion et perspectives

La participation au C'Space , nous a confrontés à de nombreux défis techniques aussi bien électronique que pneumatique ou mécanique. Chaque difficulté rencontrée a été l'occasion de développer des solutions adaptées, de renforcer notre compréhension du fonctionnement d'une fusée expérimentale et d'améliorer progressivement notre système.

Grâce à ce travail, nous avons pu présenter une fusée complète et qualifiée lors du C'Space. Les phases de tests au sol ont confirmé la robustesse de nos choix, et le vol s'est déroulé de manière nominale. Le parachute s'est bien éjecté, avec un léger retard de quelques secondes après l'apogée, probablement lié à une surstabilité de la fusée. Malgré cela, l'objectif principal de récupération a été atteint, validant ainsi la démarche entreprise.

Ce projet a renforcé la motivation d'une partie de l'équipe pour le pousser sur une fusée. Les enseignements tirés de cette campagne permettront d'apporter des améliorations majeures, en particulier sur le réservoir de pression, qui sera repensé pour offrir une sécurité accrue et une meilleure fiabilité.

En définitive, ce projet a été une expérience formatrice et structurante, qui ouvre la voie à une évolution progressive vers une fusée plus robuste, plus performante et répondant pleinement aux exigences des campagnes futures.

Enfin, au-delà de l'aspect technique, cette aventure a surtout été une expérience humaine riche, qui nous a soudés et permis de partager des moments intenses où l'entraide et la passion commune ont joué un rôle clé dans la réussite de l'équipe.