

Rapport de projet

Mini-fusée Solaris

C'Space 2025

Association LéoFly

Nathan Fagnou – Responsable de projet

Léopold Rehlinger – Responsable mécanique et électronique

Lucas Do Vale – Responsable parachute

Résumé

Le projet de mini-fusée Solaris est un projet d'initiation mené au sein de l'association LéoFly. Son but est de former de nouveaux membres et d'innover sur des solutions techniques en vue de projets plus ambitieux. Cette année, nous avons développé un système original de déploiement du parachute basé sur une coiffe à ouverture en deux parties commandée par électro-aimant.

En parallèle, une expérience de mesures embarquées (pression, température, gyroscope et accéléromètre) a été réalisée grâce à une carte Arduino Nano et un PCB conçu maison. La fusée a atteint une altitude d'environ 250 m, et l'intégralité du système a fonctionné nominalement.

Table des matières

I. Introduction	3
1. Acteurs du projet	4
II. Partie mécanique	6
III. Partie électronique	12
IV. Expérience	15
V. Conclusion	17
VI. Remerciements	18
VII. Annexes	19

I. Introduction

Notre association LéoFly a participé en 2025 au C'Space, la campagne nationale de lancement de projets étudiants organisée en partenariat avec le CNES et Planète Sciences. Le projet consistait à concevoir, fabriquer et lancer une mini-fusée respectant le cahier des charges.

L'objectif principal de Solaris était double :

1. Former l'équipe aux aspects techniques et organisationnels d'un projet spatial.
2. Tester une innovation : un système d'ouverture de coiffe en deux parties, libérant un parachute de manière contrôlée.

Au-delà de l'aspect technique, ce projet a constitué une véritable expérience humaine, exigeant un travail d'équipe, de la rigueur et de la créativité pour surmonter les difficultés rencontrées.

1. Acteurs du projet

Notre équipe était composée de 3 étudiants :

- Nathan Fagnou, responsable de projet.
- Léopold Rehlinger, responsable mécanique et électronique.
- Lucas Do Vale, responsable parachute.

Contrairement à certains projets précédents, nous n'étions pas encadrés par des vétérans. Cela a renforcé notre autonomie et notre capacité à trouver des solutions par nous-mêmes. Nous avons également pu compter ponctuellement sur des conseils extérieurs et sur l'expérience de l'association.

II. Partie mécanique

1. Architecture générale

La fusée Solaris est constituée d'un tube principal en PVC, d'un ensemble de bagues de centrage en contreplaqué, de quatre ailerons en acrylique et d'une coiffe en PLA imprimée en 3D. L'architecture générale a été conçue de façon à respecter le cahier des charges du C'Space, tout en favorisant la simplicité de fabrication et la fiabilité mécanique.

Les éléments principaux sont les suivants :

- Tube principal en PVC.
- Trois bagues de centrage en contreplaqué découpées au laser, dont une servant de bague de retenue moteur.
- Quatre ailerons en acrylique, également découpés au laser, avec une partie insérée dans le tube afin d'obtenir une fixation propre et résistante.
- Une coiffe et un rack électronique en PLA imprimés en 3D, fixés au tube par quatre vis.

La coiffe intègre un système d'ouverture original : une trappe montée sur charnière à ressort, maintenue fermée par un électro-aimant. Lors de la commande d'ouverture, le relais coupe l'alimentation de l'électro-aimant, libérant ainsi la trappe et le parachute.

2. Détails techniques

Nous avons initialement tenté de fabriquer un tube en fibre de carbone, mais le démoulage a échoué car nous avons attendu trop longtemps avant de séparer le moule et le composite. Nous avons donc conservé un tube en PVC, plus simple et fiable pour garantir la réussite du lancement.

Les ailerons ont été réalisés en acrylique découpé au laser. Leur conception intègre une partie pénétrant dans le tube et collée à l'intérieur, ce qui assure à la fois rigidité et esthétique extérieure.

La coiffe a été découpée avec un angle d'environ 30° par rapport à l'axe longitudinal. Cet angle permet de réduire le risque d'ouverture intempestive due au flux d'air durant l'ascension. La partie la plus grande de cette découpe forme la trappe, facilitant la libération du parachute.

Les bagues en contreplaqué ont été découpées au laser avec précision. Elles comportent des encoches adaptées pour accueillir les ailerons, et une bague spécifique assure la retenue du moteur en bas de la fusée.

3. Fabrication

Tous les éléments mécaniques de Solaris ont été fabriqués par l'équipe elle-même :

- La coiffe et le rack électronique ont été imprimés en 3D en PLA.

- Les ailerons et les bagues ont été découpés au laser dans de l'acrylique et du contreplaqué.
- Le tube en PVC a été acheté directement, faute de réussite sur la fabrication du tube carbone.

Ce choix d'autonomie dans la fabrication nous a permis de mieux comprendre les contraintes techniques liées à chaque matériau et de développer des compétences pratiques dans l'utilisation de machines de prototypage rapide (imprimante 3D, découpe laser).

III. Partie électronique

1. Système de séparation

Le système de séparation de Solaris reposait sur une carte séquenceur conçue maison, bâtie autour d'un microprocesseur de type Arduino (architecture ATM). Cette carte était alimentée par une pile 9V et commandait un relais. Lorsque le relais s'activait, il déclenchait l'alimentation d'un électro-aimant via une batterie LiPo 12V 500 mAh provenant d'un drone FPV.

L'électro-aimant maintenait la trappe de la coiffe fermée en se fixant à une plaque d'acier. À l'apogée, le relais coupait l'alimentation, libérant l'électro-aimant et permettant à la trappe de s'ouvrir grâce à une charnière à ressort. Le parachute était alors libéré.

Des indicateurs lumineux accompagnaient ce système : trois LED signalaient la mise sous tension, l'armement, le vol et le déploiement du parachute. En complément, un buzzer et une LED clignotante servaient à localiser la fusée après son atterrissage.

2. Système expérimental

Le second sous-système électronique de Solaris était dédié à l'acquisition de données expérimentales. Il reposait sur une carte Arduino Nano soudée sur un PCB maison, intégrant plusieurs capteurs :

- Un capteur de pression.
- Un capteur de température.
- Un gyroscope et un accéléromètre.

Les données étaient enregistrées sur une carte SD pour analyse post-vol. Ce système était alimenté par une pile 9V indépendante, ce qui garantissait l'isolation électrique par rapport au système de séparation.

Un interrupteur à clé mécanique permettait d'activer chaque carte indépendamment. Chaque sous-système disposait de son propre circuit électrique, ce qui assurait la redondance et la sécurité du fonctionnement global.

3. Considérations techniques

Le choix d'un électro-aimant, bien que fonctionnel, présentait certaines limites. En effet, il existait un risque d'ouverture prématurée sous l'effet de la pression dynamique en vol. Pour limiter ce risque, la coiffe a été conçue avec une découpe oblique ($\approx 30^\circ$), afin d'éviter l'engouffrement direct du flux d'air dans l'interstice des deux parties.

Cette solution a prouvé son efficacité lors du vol, la trappe ne s'étant ouverte qu'au moment prévu.

IV. Expérience

1. But de l'expérience

L'expérience embarquée dans la mini-fusée Solaris visait à mesurer les conditions de vol à l'aide de capteurs. Les paramètres principaux étaient la pression, la température, ainsi que les accélérations et rotations. L'objectif était de reconstituer le profil de vol et d'analyser le comportement de la fusée lors de son ascension et de sa descente.

Ces mesures devaient également permettre d'évaluer l'efficacité du système de séparation et du parachute.

2. Résultats obtenus

Le vol de Solaris s'est déroulé nominale et les capteurs ont globalement fonctionné comme prévu. Les données de pression et de température ont été correctement enregistrées, et le gyroscope a fourni des mesures utilisables.

Cependant, les données issues de l'accéléromètre étaient fortement perturbées. Une mauvaise calibration en amont a conduit à des résultats bruités, rendant difficile leur exploitation scientifique.

Malgré ce problème, l'expérience a été un succès en termes de mise en œuvre technique et d'acquisition de données.

3. Analyse et enseignements

L'analyse des résultats a permis de mettre en lumière plusieurs points :

- L'importance de la calibration et des tests en amont sur banc de mesure pour fiabiliser les données.
- La robustesse du système de stockage (carte SD), qui a fonctionné parfaitement.
- La pertinence de l'approche modulaire, qui a permis de séparer la gestion du parachute et l'acquisition de données.

En conclusion, même si certaines données étaient imparfaites, l'expérience a rempli son rôle pédagogique et a démontré la faisabilité de systèmes électroniques embarqués plus complexes pour de futurs projets.

V. Conclusion

Le projet Solaris a représenté une réussite technique et pédagogique pour notre équipe. Le vol s'est déroulé de manière nominale, avec une altitude atteinte d'environ 250 mètres. Le système d'ouverture de la coiffe a parfaitement fonctionné et le parachute s'est déployé comme prévu.

Les seuls défauts constatés concernaient la trappe de la coiffe, dont les inserts en PLA se sont fragilisés lors de l'impact, et les mesures d'accélération, perturbées par une calibration insuffisante. Malgré ces limites, la fusée aurait pu redécoller immédiatement après récupération.

Au-delà des résultats techniques, Solaris a surtout permis à l'équipe :

- D'apprendre à suivre un cahier des charges strict.
- De développer des compétences en fabrication (impression 3D, découpe laser, prototypage électronique).
- D'améliorer sa gestion de projet et sa capacité de travail en équipe.

Ce projet constitue une étape importante pour la formation de l'équipe et ouvre la voie à des projets plus ambitieux, notamment la participation à la conception de fusées expérimentales (Fusex) dans le futur. Il a démontré que, malgré les contraintes techniques et humaines, un projet mené avec rigueur et motivation peut aboutir à un succès concret et formateur.

VI. Remerciements

À l'issue du projet Solaris, nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes et structures qui nous ont aidés à mener à bien cette aventure :

- Nos partenaires académiques au sein de l'ESILV, qui nous ont apporté un soutien logistique et pédagogique.
- L'Atelier et ses encadrants, pour leur accompagnement technique et la mise à disposition des machines indispensables à la fabrication de la fusée (imprimantes 3D, découpe laser, outils de prototypage).
- Les bénévoles de Planète Sciences, pour leur suivi attentif à travers les réunions techniques (RCE) et leur présence lors de la campagne C'Space.
- Le CNES, pour l'organisation de la campagne et l'opportunité de participer à un projet spatial concret.

Enfin, nous remercions l'ensemble de l'association LéoFly, dont l'esprit collaboratif et l'expérience accumulée au fil des années constituent une source d'inspiration et de motivation pour chaque nouveau projet.