

Préliminaire – Développement et conception d'une mini-fusée capable de concourir à la compétition nationale « c'space » édition 2024

2024

Rapport technique – Fusée Sirius 1



TURKI Rayan – Sébastien Tavernier –

Anaïs Dewever – Andréa Pain

EPF Astronomie

11/09/2024

Sommaire

I/ Introduction.....	2
C'space :.....	2
II/ Présentation	3
A) Équipe	3
B) Projet.....	3
C) Répartition des tâches	4
D) Timeline.....	4
III/ Déroulement du projet.....	5
A) Objectifs	5
1) Objectifs pratiques.....	5
2) Objectifs techniques	5
3) Objectifs d'expertise	6
B) Dimensionnement.....	6
C) Modélisation	9
1) CAO	9
2) Electronique	15
D) Partie pratique.....	18
Le corps.....	18
L'électronique	21
IV/ Conclusion	23
V/ Annexes	24
Annexe A)	24
Figure 1 : timeline.....	4
Figure 2 : STAB-TRAJ	7
Figure 3 : Modélisation sur CATIA V5.....	9
Figure 4 : Baie moteur V2 -1	10
Figure 5 : Baie moteur V2 - 2.....	10
Figure 6 : Baie moteur assemblé	11
Figure 7 : Baie moteur Hermès	12

Figure 8 : compartiment électronique -1	13
Figure 9 : compartiment électronique - 2	14
Figure 10 : ogive	15
Figure 11 : schéma électronique - 1	16
Figure 12 : schéma électronique - 2	16
Figure 13 : exemple de peau porteuse	18
Figure 14: exemple de peau non porteuse	19

I/ Introduction

Le projet Sirius est un projet de minif (Mini fusée) étudiante construite au sein de l'association « EPF Astronomie » dans le cadre du programme de lancement C'Space.

Qu'est-ce que le C'Space ?

C'space :

« Le C'Space c'est la campagne nationale de lancement des projets étudiants dans le domaine de l'espace !

Durant plus d'une semaine, des étudiants Français, mais également Russes, Autrichiens, Péruviens et Japonais se rassemblent dans le but de lancer des fusées expérimentales, des minifusées, de larguer des CanSat et de lâcher des ballons stratosphériques.

Cette campagne est organisée par le CNES en partenariat avec Planète Sciences.

Après une année (voire plus) les projets sont contrôlés par des bénévoles de Planète Sciences et approuvés par le CNES. Par la suite, le projet est acheminé sur l'aire de lancement pour leurs mises en œuvre opérées par des pyrotechniciens du CNES ou de Planète Sciences. »

Pour plus d'information : [C'Space \(Campagne de lancements\) — Présentation \(planete-sciences.org\)](http://C'Space(Campagne de lancements) — Présentation (planete-sciences.org))

Pour débiter, en raison de notre manque d'expérience, nous avons conçu une mini-fusée sans expertise préalable. Cela signifie que notre objectif principal était simplement (bien que cela ne soit pas si simple) de faire décoller la fusée, de maintenir sa stabilité en vol et de la faire atterrir sans incident.

II/ Présentation

A) Équipe

Pour ce projet, nous étions une équipe de 4 personnes :



**Rayan Turki –
Chef de projet**



**Sébastien Tavernier
Mécanique**



**Anaïs Dewever
Conception CAO**



**Andréa Pain
Software**

Commenté [RT1]: On peut rajouter des photo si vous voulez

Commenté [ST2]: Description fonction ?

B) Projet

En tant que mini-fusée, Sirius 1 devait se conformer au cahier des charges des mini-fusées, tel que défini par Planète Sciences. Ce cahier des charges impose des limites au projet afin d'assurer la sécurité et la viabilité de celui-ci. Une fois ces limites établies, nous pouvons commencer à dimensionner notre mini-fusée, en gardant à l'esprit que l'objectif est d'atteindre la plus grande altitude possible et de réaliser un vol nominal (avec ouverture du parachute et atterrissage sans endommager la fusée).

Fort de notre expérience, nous avons identifié les limites de dimensionnement à ne pas dépasser pour éviter les problèmes :

Diamètre ≤ 100 mm

Poids total (sans propulsion) < 2 kg

Bien qu'il soit possible de concevoir une mini-fusée fonctionnelle en dépassant ces valeurs, cela peut entraîner des problèmes que nous détaillerons dans la suite du rapport.

C) Répartition des tâches

On peut découper notre Mini-fusée en 3 parties : le compartiment électronique / le compartiment parachute / le compartiment moteur. On peut rajouter l'ogive pour une découpe en 4 si besoin.

Eléments	Personne(s) en charge
Ogive	Anaïs
Compartiment électronique	Rayan et Sébastien
Compartiment parachute	Anaïs et Andréa
Compartiment moteur	Sébastien
Strabtarj	Andréa et Rayan

D) Timeline

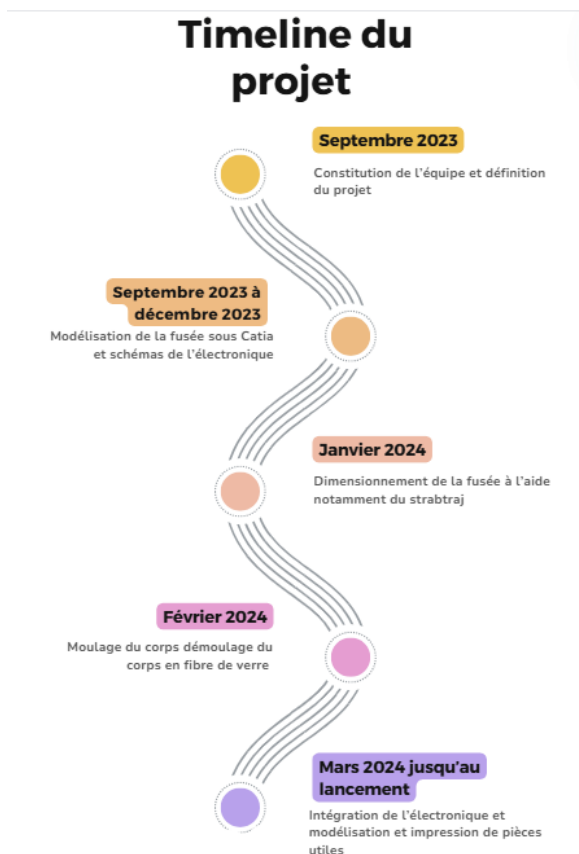


Figure 1 : timeline

III/ Déroulement du projet

A) Objectifs

Les objectifs de notre projet se séparent en 3 grandes parties :

1) Objectifs pratiques

De part la nature pionnière de la présence des membres du pôle projet de l'association EPF Astronomie en tant que Club participant au C'space, nous avons le désir de marquer le coup ; nous avons à notre disposition 15 personnes au total, ce qui a mené à prendre la décision de réaliser 3 fusées, donc 4 personnes pour Sirius 1. Afin de faire preuve de crédibilité malgré les contraintes, nous avons tablé sur des solutions simples mais efficaces, démontrant également notre détermination. Cela nous à amené par exemple à décider de la fibre de verre pour la fabrication du corps, ainsi qu'à intégrer un système de Rack pour insérer et enlever plus facilement le compartiment électronique.

L'objectif pratique principal est donc de démarquer notre fusée par sa simplicité favorisant primordialement sa fonctionnalité, ensuite son esthétisme. Le reste est jugé contingent.

2) Objectifs techniques

En vue de notre faible expertise et nos faibles moyens techniques et financiers, nous avons décidé de prioriser au maximum quelques fonctions principales résumées dans le tableau suivant : (ces fonctions sont déduites conformément aux fonctions imposées par le cahier des charges Minifusées de référence MINIF/CDC/1/CNES-PLASCI (ver. 4.0))

Fonctions principales		Critère	Niveau
FP1	Autonomie	Fonctionnement correct pendant le vol	Minimum 1h
FP2	Expérience	Obtention du point de vue de la fusée	Caméra embarquée
FP3	Mécanique	Solidité	Capable de résister aux efforts induits lors d'un vol nominal
		Étanchéité	L'air ne s'engouffre pas suffisamment

			dans la fusée pour créer une surpression et ouvrir la trappe
		Assemblage	Les composants de la fusée peuvent être manipulés et exploités sans intervention d'outils manuels
FP4	Electronique	Récupération à la fin du vol	Conforme aux règles RC1/2/3/4 du cahier des charges Minifusées (ver. 4.0)
FP5	Trajectoire	Suivi du tracé de la trajectoire calculée (stabilité)	Conforme aux règles VL4 et VL5 du cahier des charges Minifusées (ver. 4.0)
		Apogée	Entre 200m et 300m d'altitude QFE avec un angle de lancement de 80° ($\pm 2^\circ$)
		Vitesse de sortie de rampe	$>18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
		Masse	$<2300\text{g}$

3) Objectifs d'expertise

Au-delà de la réalisation de la fusée en elle-même et de son vol, les objectifs de ce projet sont également de prendre en expertise et de développer les compétences techniques et relationnelles de chacun. Par exemple : Travailler physiquement en collaboration avec les membres de son équipe et des équipes voisines, travailler sa prise d'initiative et de décisions sous contraintes temporelles et pratiques.

B) Dimensionnement

Une fois les objectifs du projet définis, nous entamons la phase de dimensionnement. Nous déterminons le diamètre de la fusée, la hauteur souhaitée, le poids cible et le centre de masse optimal. Ces paramètres influencent grandement la stabilité et la configuration des ailerons. Le logiciel StabTraj nous assiste dans la prise de décisions de dimensionnement cohérentes.

Ci-contre la feuille StabTraj de stabilité finale de notre fusée :

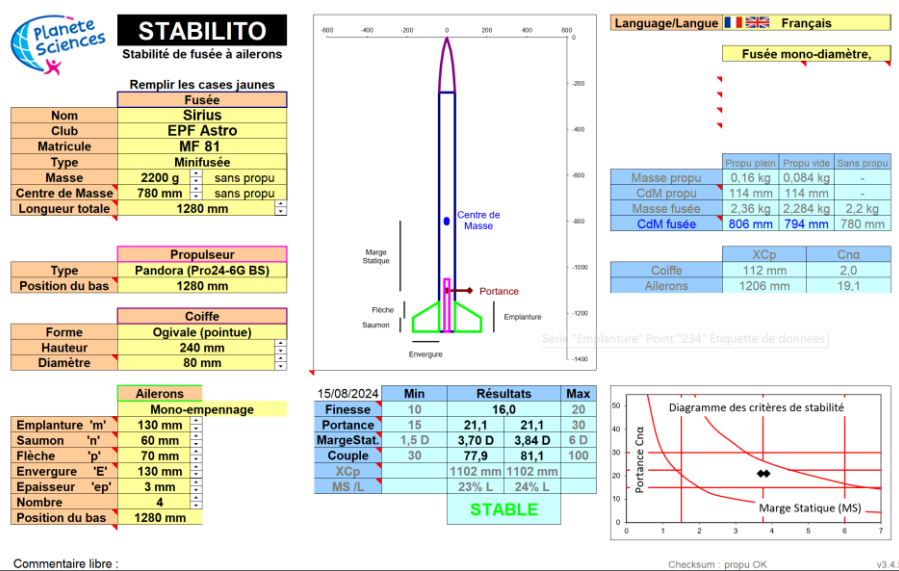
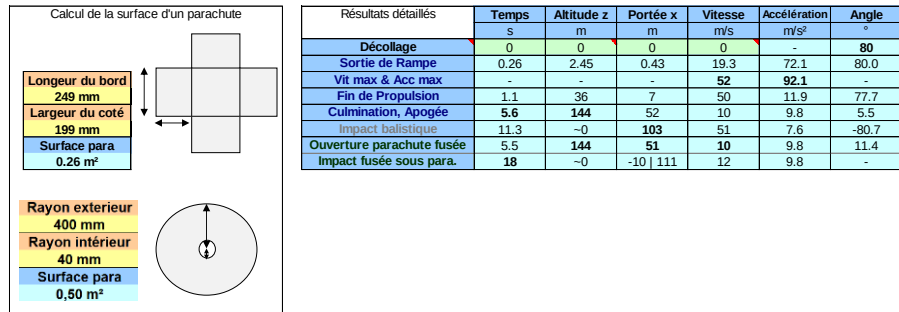
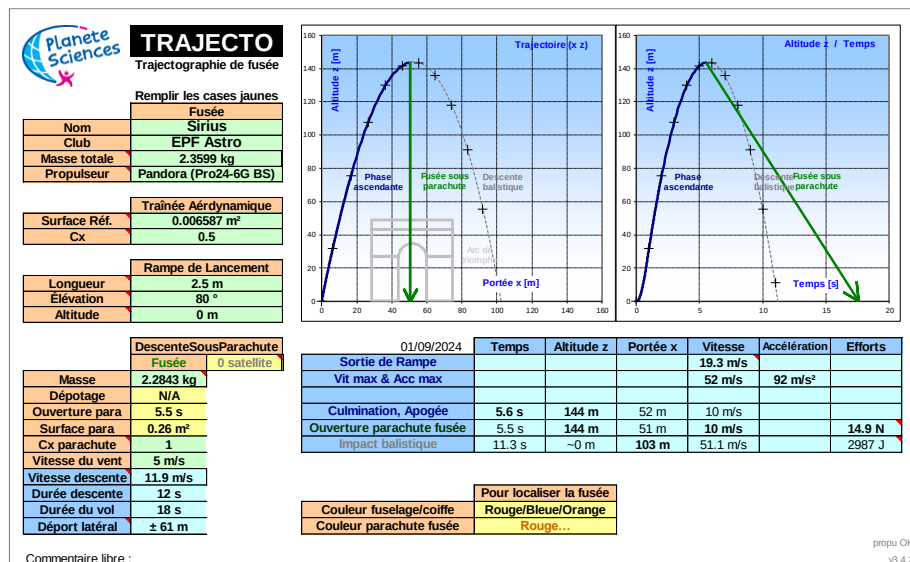


Figure 2 : STAB-TRAJ

Ci-contre la feuille StabTraj de trajectoire finale de notre fusée :



Le paramétrage de la feuille de dimensionnement des ailerons se fait une fois que les composantes de dimensionnement de stabilité sont fixées. On aura noté que le centre de masse va changer jusqu'à la dernière minute en raison de l'ajout et du retrait ponctuel des pièces de la fusée. (Lors de la qualification finale de la fusée qui, dans notre cas, a été obtenue le jeudi à Midi au C'space, les feuilles sont finales et fixées ; cf. les feuilles ci-dessus).

C) Modélisation

1) CAO

Une fois le dimensionnement global choisi, nous procédons à la modélisation numérique à l'aide de Catia V5. Bien que cette étape ne soit pas indispensable en vue de la simplicité mécanique, elle permet de visualiser l'apparence de la fusée et s'avère très utile pour une intégration optimale. Pour les mini-fusées, il est préférable de passer à la pratique le plus rapidement possible.

Ci-dessous une image de l'assemblage préliminaire de la fusée :



Figure 3 : Modélisation sur CATIA V5

- Le compartiment moteur, version 2 :

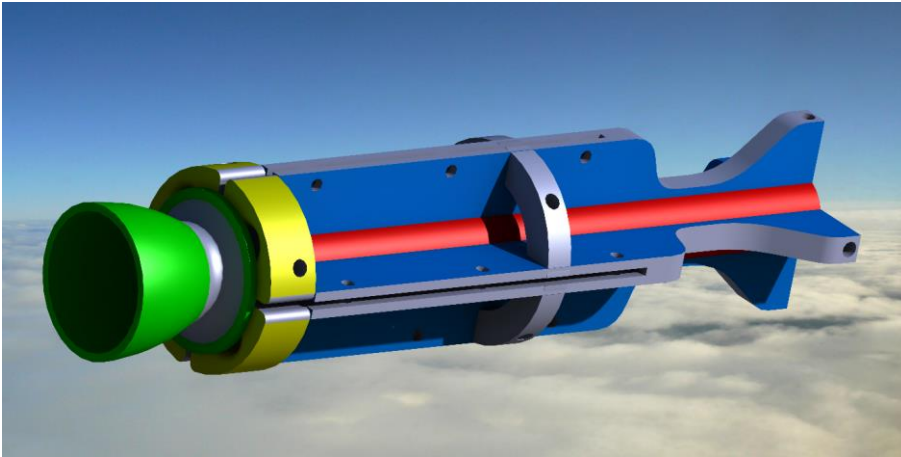


Figure 4 : Baie moteur V2 - 1

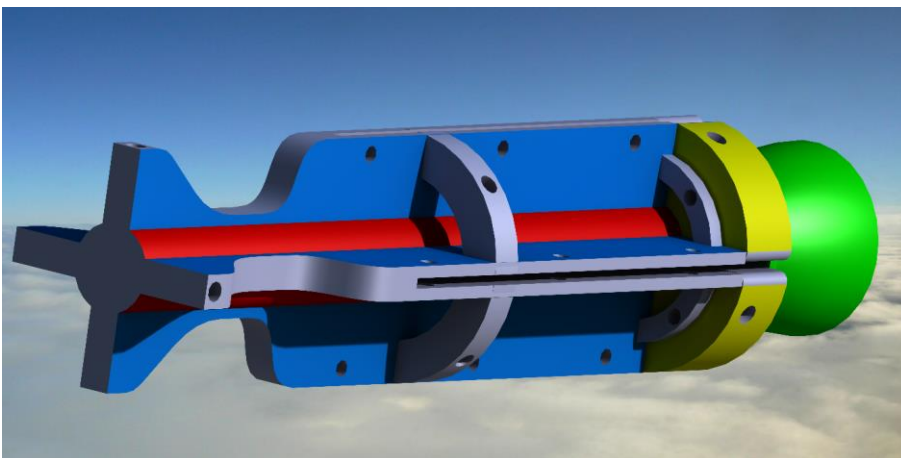


Figure 5 : Baie moteur V2 - 2

Composée d'une baie de guidage lors de l'insertion du moteur (cylindre creux en rouge), de 4 protrusions rainurées pour fixer solidement les ailerons au compartiment, d'une bague de reprise des forces résultantes de la poussée du moteur (d'où son épaisseur importante) boulonnée à la pièce que constitue les parties rouges et bleues, et enfin d'une bague tuyère à embouchure filetée, vissable axialement sur

l'assemblage précédant, permettant la fixation totale du moteur dans sa baie.
L'assemblage complet est boulonné au corps par l'intermédiaire d'inserts en laiton, insérés dans tous les 12 perçages (3 répétitions de 4 perçages axialement symétriques) dont l'axe de chacun d'entre eux croise l'axe de symétrie axiale global de l'assemblage. La pièce n'est pas conçue pour être manipulée après son montage sur le corps.



Figure 6 : Baie moteur assemblé

Malheureusement, à la suite de problèmes critiques liés aux performances thermiques des polymères utilisés pour l'impression 3D de la pièce, notamment la fonte de celui-ci provoquée par la conduction résultante de la combustion du moteur en

fonctionnement, la solution a été abandonnée au profit de la réalisation d'une baie moteur constituée de 2 bagues simples dans lesquelles sont insérés les ailerons.

Cette solution est plus lourde (dû aux équerres en aluminium rajouté a la place du PLA) mais plus facile à mettre en place et expose une surface de PLA moins importante à la chaleur du moteur. Il est également plus facile de faire des modifications sur des systèmes simplifié.

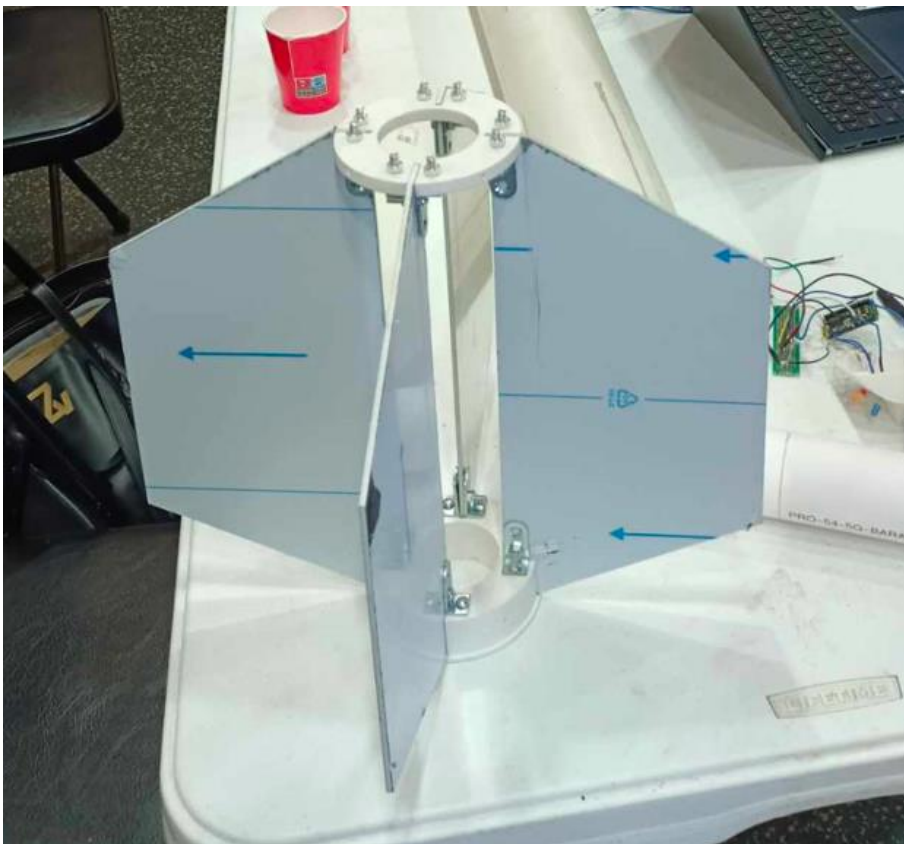


Figure 7 : Baie moteur Hermès

Cette photo venant du compartiment moteur de la fusex Hermès illustre la méthode de substitution que nous avons installé pour le lancement de Sirius 1 au détail que sur Sirius nous avons installé 3 bagues (une au centre).

- Le compartiment électronique :

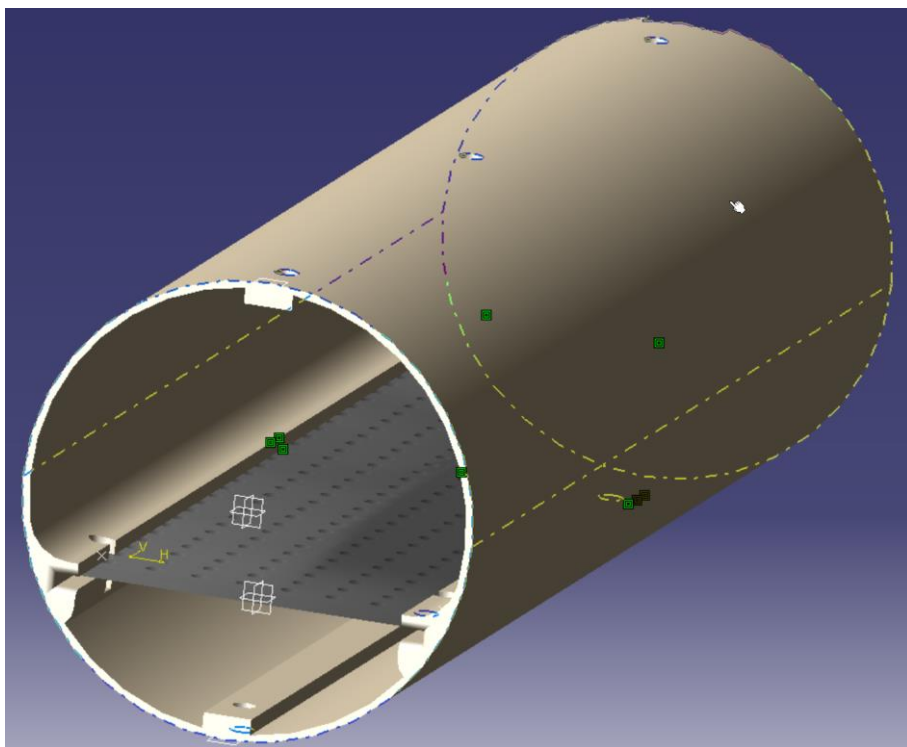


Figure 8 : compartiment électronique -1

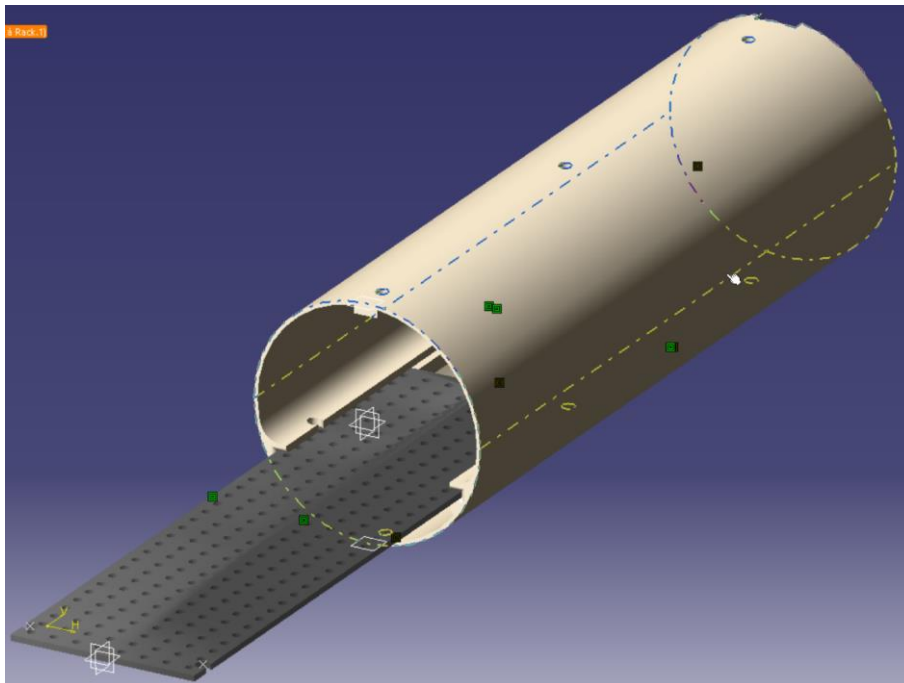


Figure 9 : compartiment électronique - 2

Composé d'une interface corps à rack de forme cylindrique comportant des rails permettant l'insertion de la planche rack pour faciliter sa manipulation une fois les composants fixés. Munis de 6 perçages (3x2) latéraux qui accueillent des inserts en laiton, c'est de cette manière que celle-ci est fixée au corps. Elle n'est pas manipulable sans tournevis une fois montée. La planche rack est insérée et retirée en induisant des efforts vectoriellement coaxiaux à l'axe des vis en direction de l'intérieur de la fusée (en pinçant la fusée telle une bouteille cylindrique de shampoing par exemple), permettant par flexion d'augmenter l'espace latéral entre les 2 rails, donnant la tolérance nécessaire à la réduction de la friction pour faire bouger par liaison glissière la planche Rack. De cette manière, elle oppose suffisamment peu de résistance pour être insérée et enlevée. De plus, celle-ci présente des perçages partiels qui s'alignent axialement avec ceux présents sur l'interface afin d'insérer 2 goupilles pour bien bloquer l'assemblage si nécessaire. Celle-ci est spécifiquement conçue pour être manipulée après le montage de l'interface corps-rack.

- L'ogive :



Figure 10 : ogive

Une bague de fixation à l'extrémité du corps, filetée vers l'extérieur sur laquelle se visse la partie ouverte taraudée d'un simple cône profilé en son extrémité pour une aérodynamique optimale, percé d'un grand trou correspondant au diamètre de l'objectif de la caméra (non modélisée ici) logée à l'intérieur de celle-ci et contrainte par des morceaux de mousse absorbante en polymère expansé.

Le compartiment Parachute ne sera pas spécifiquement modélisé par CAO du fait de sa simplicité (un espace pour accueillir le parachute délimité par 2 bagues circulaires réparties de part et d'autre du compartiment, on y reviendra dans la partie assemblage)

2) Electronique

Contrairement à la modélisation assistée par ordinateur (CAO), la modélisation des circuits électriques est indispensable, même pour les circuits les plus simples. Toutes les fusées doivent au minimum être équipées d'une batterie, d'une carte électronique (de préférence de type nano ou personnalisée), d'un interrupteur, de trois LED, de trois résistances et d'un composant permettant l'éjection de la porte (tel qu'un aimant ou un servo). Les schémas électroniques peuvent être facilement réalisés sur le logiciel Kicad

sans compétences particulières, à condition de ne viser qu'une simple visualisation. Dans notre cas, nous avons fait une ébauche sur tableau Velléda :

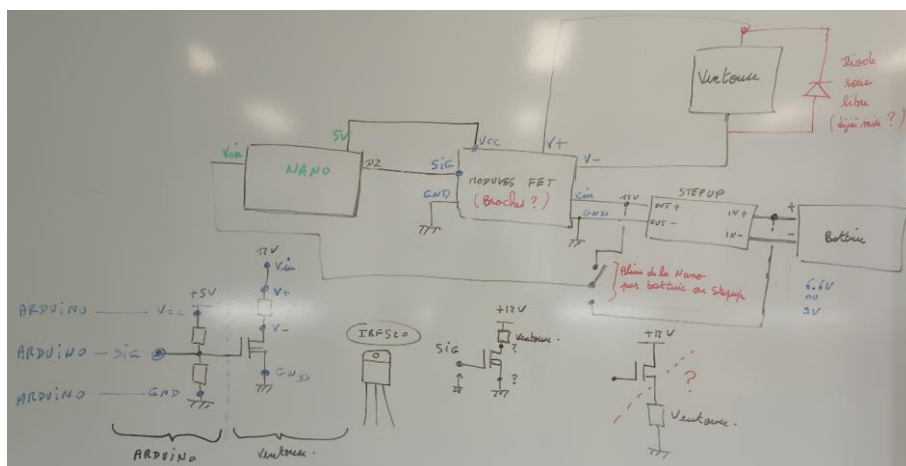


Figure 11 : schéma électronique - 1

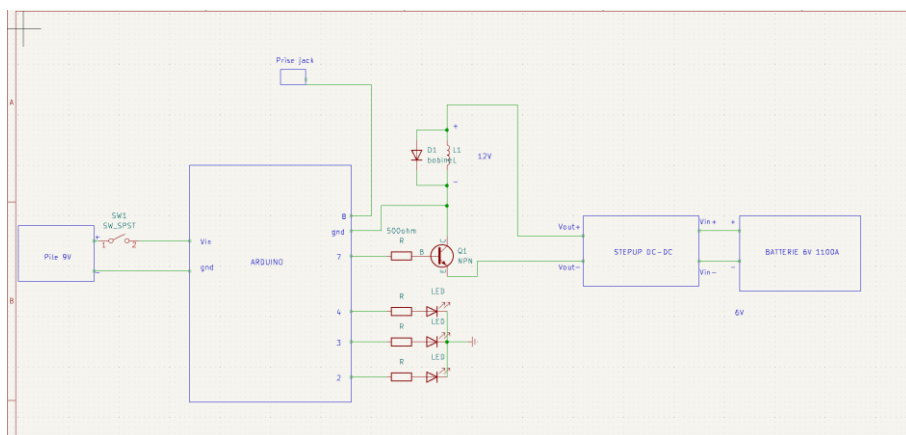


Figure 12 : schéma électronique - 2

L'électronique de Sirius 1 contient les éléments suivants :

- 1 carte Arduino Nano ESP32
- 1 ventouse magnétique
- 1 batterie Lithium-Polymère
- 1 module MOSFET 24V 5A

- 1 module amplificateur redresseur MT3608 DC-DC
- 1 interrupteur en plastique
- 1 connecteur Jack femelle
- 3 LEDs et leur résistance associée

Les interrupteur et connecteur Jack femelle ne sont pas représentés ici mais leur fonction est respectivement de démarrer le programme et déclencher la minuterie. Le code est à retrouver en Annexe 1.

Explication globale du fonctionnement de l'électronique de récupération :

1. État de Clignotement (LED 1 rouge)

Indication Lumineuse : La LED connectée au pin 2 clignote (s'allume et s'éteint toutes les 200 millisecondes).

Fonction : Cet état indique que le système est en fonctionnement normal et que la fusée est prête à être utilisée. Le clignotement de la LED 1 sert de signal visuel pour montrer que le système est actif.

2. État de Connexion du Câble (LED 2 orange)

Indication Lumineuse : La LED connectée au pin 3 s'allume lorsque le câble est connecté (prise jack insérée).

Fonction : Cet état vérifie si le câble est connecté ou déconnecté. Lorsque le câble est connecté, la LED 2 s'allume pour indiquer que la prise jack est en place. Cela réinitialise également le temps de déconnexion du câble et initialise le temps d'activation de la ventouse magnétique.

3. État de Déconnexion du Câble et Activation de la Ventouse Magnétique (LED 3 verte)

Indication Lumineuse : La LED connectée au pin 4 s'allume après un délai de 5,5 secondes si le câble est déconnecté.

Fonction : Cet état vérifie le temps écoulé depuis la déconnexion du câble. Si le câble reste déconnecté pendant plus de 5,5 secondes, la LED 3 s'allume pour indiquer que le délai est écoulé. En parallèle, la ventouse magnétique (électroaimant) est désactivée après le même délai de 5,5 secondes si la LED 3 est allumée, permettant l'éjection de la porte du compartiment parachute.

En résumé, ces trois états permettent de surveiller et d'indiquer visuellement le fonctionnement du système de la fusée, en s'assurant que le câble est correctement connecté et en gérant l'activation de la ventouse magnétique en fonction du temps écoulé.

Note : Le schéma et les composants ne sont pas exactement ceux qui ont volé, sur la base de lancement des changements ont été effectués du a des casses principalement des composants de secours ont donc dû être trouvés. Le circuit final n'a pas fait l'objet de schématisation propre ou de recensement des composants.

D) Partie pratique

Les 1ères réalisations qui se font avant la RCE 2 sont l'usinage du corps et l'élaboration du circuit électronique.

Le corps

Les corps peuvent être réalisés majoritairement de 2 façons :

- Avec une peau porteuse (la contrainte mécanique arrive directement sur la peau de la fusée et cette peau soutient tous les composants)

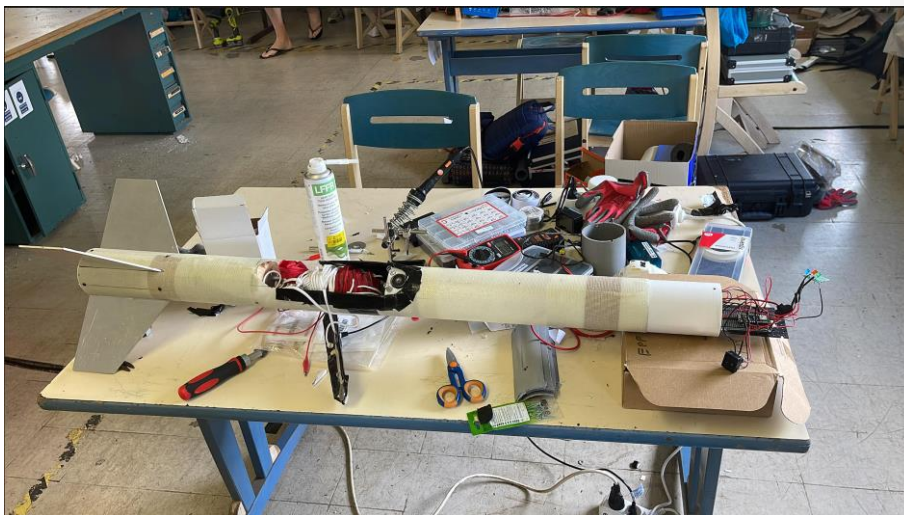


Figure 13 : exemple de peau porteuse

- Avec une peau non porteuse (la peau sert uniquement pour l'aérodynamique, tous les efforts reposent donc sur une structure interne)

Commenté [RT3]: A reformuler



Figure 14: exemple de peau non porteuse

Les corps peuvent être fabriqués à partir de divers matériaux : aluminium (uniquement pour les fusées expérimentales), fibre de carbone (uniquement pour les fusées expérimentales), fibre de verre (pour les fusées expérimentales et les mini-fusées), PVC (attention au poids), PLA et PETG (à étudier en détail cependant). Ou même n'importe quel autre matériau, à condition qu'il ne s'agisse pas d'une enveloppe porteuse. Nous avons choisi de fabriquer notre corps en fibre de verre. Le processus détaillé est le suivant :

1. Pulvériser un agent antiadhésif sur le tube en PVC.
2. Enrouler le PVC de papier sulfurisé.
3. Découper la quantité souhaitée de fibre de verre.
4. Appliquer la fibre de verre sur le PVC et l'enrouler tout en l'enduisant d'époxy.
5. Laisser sécher pendant une semaine, puis démouler.

Les problèmes rencontrés :

- Le démoulage était impossible due à un tassement du papier sulfurisé sans doute causé par son adhérence au tube de PVC.
- La fibre de verre était de mauvaise qualité due à un manque de couche de fibre et à un manque d'époxy ce qui ne rendait pas la peau assez rigide ni étanche

On en déduit que la fibre de verre et les matériaux composites de manière générale sont difficiles à manipuler ; en résultera dans notre cas la perte d'intérêt totale de notre décision. En effet, le tassement du papier cuisson lors du démoulage rendra ce dernier partiel, ce qui nous a obligé à garder une partie de PVC dans le corps final, obligeant un redimensionnement en conséquence. De ressort, notre fusée est devenue plus lourde, peu rigide et peu étanche.

Ce qu'il faut changer :

Pour le démoulage :

- Essayer sans le papier sulfurisé
- Le froid aide à démouler
- Marcher sur le tube et frotter avec ses pieds aide à démouler
- Briser le pvc peut aider à démouler à condition d'arriver à épargner la fibre de verre

Pour la qualité :

- Ne pas hésiter à faire 4 ou 5 tours du tube avec la fibre de verre voire plus. Mieux vaut un corps trop rigide que pas assez.
- Ne pas hésiter à mettre beaucoup d'époxy, c'est cela qui donne la rigidité et la solidité au corps.
- On doit pouvoir marcher voire sauter sur le corps s'il est bien moulé
- Attention à ne pas faire du zèle sur les tests de contrainte mécanique car le poids du corps doit rester le plus faible possible pour une rigidité optimale

Pour maintenir le corps en hauteur sur la table, des supports en croix font très bien l'affaire et sont à la fois simple à produire et stable.

Concernant le compartiment parachute, qui n'est qu'une délimitation de la partie centrale de la fusée, nous en avons déduit à la suite du montage, confirmé au 1er contrôle, que le corps seul n'encaissera pas les chocs induits au lancement, ce qui a nécessité le rajout de cerclages en métal installés en renfort à l'intérieur de la baie moteur, ce qui a résolu complètement le problème. Le boulonnage de ceux-ci au corps a nécessité un raccourcissement de la taille des boulons, le cas échéant ceux-ci risquaient de déchirer le parachute à l'intérieur du compartiment.

Le plus gros problème restait de manière générale la rigidité globale du corps, qui a nécessité le développement de moyens précaires utilisant des matériaux sourcés à la volée, en clair, du bidouillage à la polonaise.

L'électronique

L'électronique de la fusée a vocation à être la plus simplifiée possible. Pour cela, le nombre de composants nécessaires à la réalisation de la fusée a été le plus limité possible.

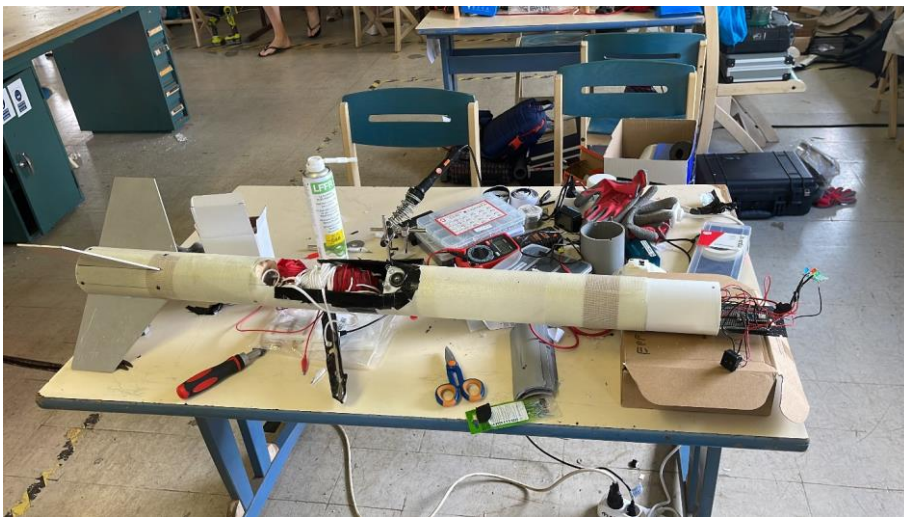


Figure : Fusée Sirius en cours de montage

Concernant le mécanisme d'éjection de la porte, celui-ci consiste en une ventouse magnétique ci-dessous entourée en rouge dont un disque troué en son centre attaché à la porte de la fusée est aligné axialement à la ventouse. La ventouse et le disque sont contraints magnétiquement et 2 ressorts ci-dessous entourés en bleu sont en compression entre la pièce blanche permettant de fixer la ventouse au corps et la porte.



Figure : Mécanisme d'éjection de la porte

Notre ventouse magnétique est un composant rare nécessitant des conditions particulières pour fonctionner. Elle fonctionne de la manière suivante : Le disque troué en son centre est la pièce devant être attachée à la porte permettant l'action magnétique de la ventouse. Ce disque est contraint magnétiquement à la ventouse lorsque celle-ci n'est pas alimentée. Lorsque la ventouse est alimentée, celle-ci se démagnétise laissant le disque libre dans ses mouvements. La porte n'est donc seulement soumise aux forces axiales orientées vers l'extérieur de la fusée induites par la pression des ressorts qui, en se détendant (en revenant à leur position équilibre) permet à la porte de s'ouvrir.

Le choix de cette ventouse magnétique plutôt qu'un électro-aimant permet d'optimiser l'autonomie de la fusée dans le temps ; la ventouse magnétique permet l'état fermé de la porte en n'étant pas alimentée, ce qui contrairement à un électro-aimant qui a besoin d'être alimenté pour magnétiser, permet donc de ne pas dépenser de l'énergie pendant l'attente de décollage et les procédures de pré-vol.

Nous avons cependant soulevé 3 problèmes critiques :

La ventouse magnétique et le disque doivent être très rigoureusement alignés pour pouvoir être magnétisés, ce qui nous a amené à fixer la pièce blanche permettant de fixer la ventouse avec deux bandes Velcro au corps. Le résultat est surprenant : le velcro amène exactement le jeu nécessaire pour palier ce problème, tout en gardant la pièce blanche suffisamment attachée au corps.

Pour fonctionner, la ventouse magnétique nécessite une alimentation symétrique d'exactly 12V DC ($\pm 1V$) sans quoi la démagnétisation n'aura pas lieu. La batterie 9V ne permettant pas de fournir cette puissance, c'est la raison pour laquelle notre circuit contient un module amplificateur redresseur MT3608 DC-DC permettant d'atteindre les 12V à condition d'avoir le courant suffisamment élevé. La contrainte précédente nous a poussé à essayer d'installer 2 batteries 9V en dérivation, ce qui s'est révélé contingent ; 1 seul accumulateur nous a suffi après plusieurs tests.

Le circuit a dû être réalisé à l'aide de câbles *Jumpers* soudés sur une plaque de prototypage ; il n'y avait en effet pas le temps ni le budget de dessiner et commander un circuit imprimé sur mesure. Cette décision est la source de beaucoup de problèmes liés aux contacts des soudures qui soit n'était pas satisfaisant, soit risquait d'intervertir entre elles, soit les soudures n'étaient pas assez solides. En résulte une grande partie du temps de travail de Rayan 1 semaine avant et pendant le c'space à refaire, ressouder, ajuster et tester le circuit. Malgré ces efforts et l'aide de la *Debug Team* dont l'électronicien affecté, un grand nombre de composants ont dû être remplacés parce que grillés ou non fonctionnels pour des raisons que nous avons globalement peiné à identifier, ce qui a amené à refaire le circuit une bonne dizaine de fois au total.

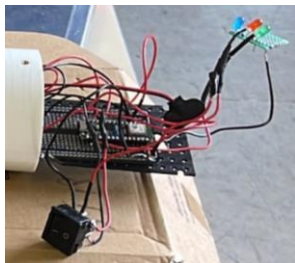


Figure : électronique en insertion dans la fusée

IV/ Conclusion

Le projet Sirius 1 a représenté un défi technique et organisationnel majeur pour notre équipe, mais également une expérience extrêmement enrichissante. En tant que première participation à la compétition nationale C'Space, nous avons dû surmonter plusieurs obstacles techniques, notamment dans le dimensionnement, la modélisation et l'assemblage des composants critiques tels que le compartiment moteur, l'électronique et le parachute. Malgré notre manque d'expérience initiale, nous avons réussi à concevoir une mini-fusée fonctionnelle, capable d'atteindre l'altitude visée tout en respectant les critères de sécurité et de performance.

Les résultats obtenus lors des tests, bien qu'imparfaits, nous ont permis d'identifier plusieurs pistes d'amélioration, notamment dans l'utilisation des matériaux composites et la conception du mécanisme d'éjection. Le projet nous a également permis d'acquérir de nouvelles compétences dans les domaines de la mécanique, de l'électronique, et de la gestion de projet.

En conclusion, Sirius 1 a non seulement atteint ses objectifs principaux, mais a aussi posé les bases pour des projets futurs au sein de l'association EPF Astronomie. Nous espérons que les leçons tirées de cette expérience serviront à améliorer nos conceptions pour les prochaines éditions de C'Space.

V/ Annexes

Annexe A)

Ci-dessous le code Arduino de l'électronique de récupération :

```
const int pinLED1 = 2;
const int pinLED2 = 3;
const int pinLED3 = 4;
const int pinPriseJack = 8;
const int pinElectroAimant = 7;

unsigned long lastCableDisconnectedTime = 0;
unsigned long electroAimantActivationTime = 0;
const unsigned long delayTime = 5500; // Délai de 5,5 secondes pour la LED 4
et la ventouse magnétique

void setup() {
  pinMode(pinLED1, OUTPUT);
  pinMode(pinLED2, OUTPUT);
  pinMode(pinLED3, OUTPUT);
  pinMode(pinPriseJack, INPUT_PULLUP); // Activation de la résistance pull-up
interne sur le pin 8
  pinMode(pinElectroAimant, OUTPUT);
  Serial.begin(9600); // Initialiser la communication série
}

void loop() {
  // Clignotement de la LED connectée au pin 2
  digitalWrite(pinLED1, HIGH);
  Serial.println("LED 2 allumée");
  "" delay(200);
  digitalWrite(pinLED1, LOW);
  Serial.println("LED 2 éteinte");
  delay(200);""
```

```
// Vérification de la connexion du câble sur le pin 8 (prise jack)
if (digitalRead(pinPriseJack) == LOW) {
    Serial.println("Câble connecté. Allumer la prise jack (LED 3).");
    digitalWrite(pinLED2, HIGH); // Allumer la LED de la prise jack (LED 3)
    lastCableDisconnectedTime = millis(); // Réinitialiser le temps de
déconnexion du câble
    electroAimantActivationTime = millis(); // Initialiser le temps
d'activation de la ventouse magnétique
} else {
    Serial.println("Câble déconnecté. Éteindre la prise jack (LED 3).");
    digitalWrite(pinLED2, LOW); // Éteindre la LED de la prise jack (LED 3)
}

// Vérification du temps écoulé depuis la déconnexion du câble pour la LED 4
if (millis() - lastCableDisconnectedTime >= delayTime &&
digitalRead(pinPriseJack) == HIGH) {
    Serial.println("Temps écoulé après la déconnexion. Allumer la LED 4.");
    digitalWrite(pinLED3, HIGH); // Allumer la LED 4
} else {
    digitalWrite(pinLED3, LOW); // Éteindre la LED 4
}

// Vérification du temps écoulé depuis l'activation de la ventouse
magnétique
if (millis() - electroAimantActivationTime >= delayTime &&
digitalRead(pinLED3) == HIGH) {
    Serial.println("Temps écoulé pour la ventouse magnétique. Désactiver la
ventouse magnétique.");
    digitalWrite(pinElectroAimant, LOW); // Désactiver la ventouse magnétique
} else {
    digitalWrite(pinElectroAimant, HIGH); // Activer la ventouse magnétique
}
}
```