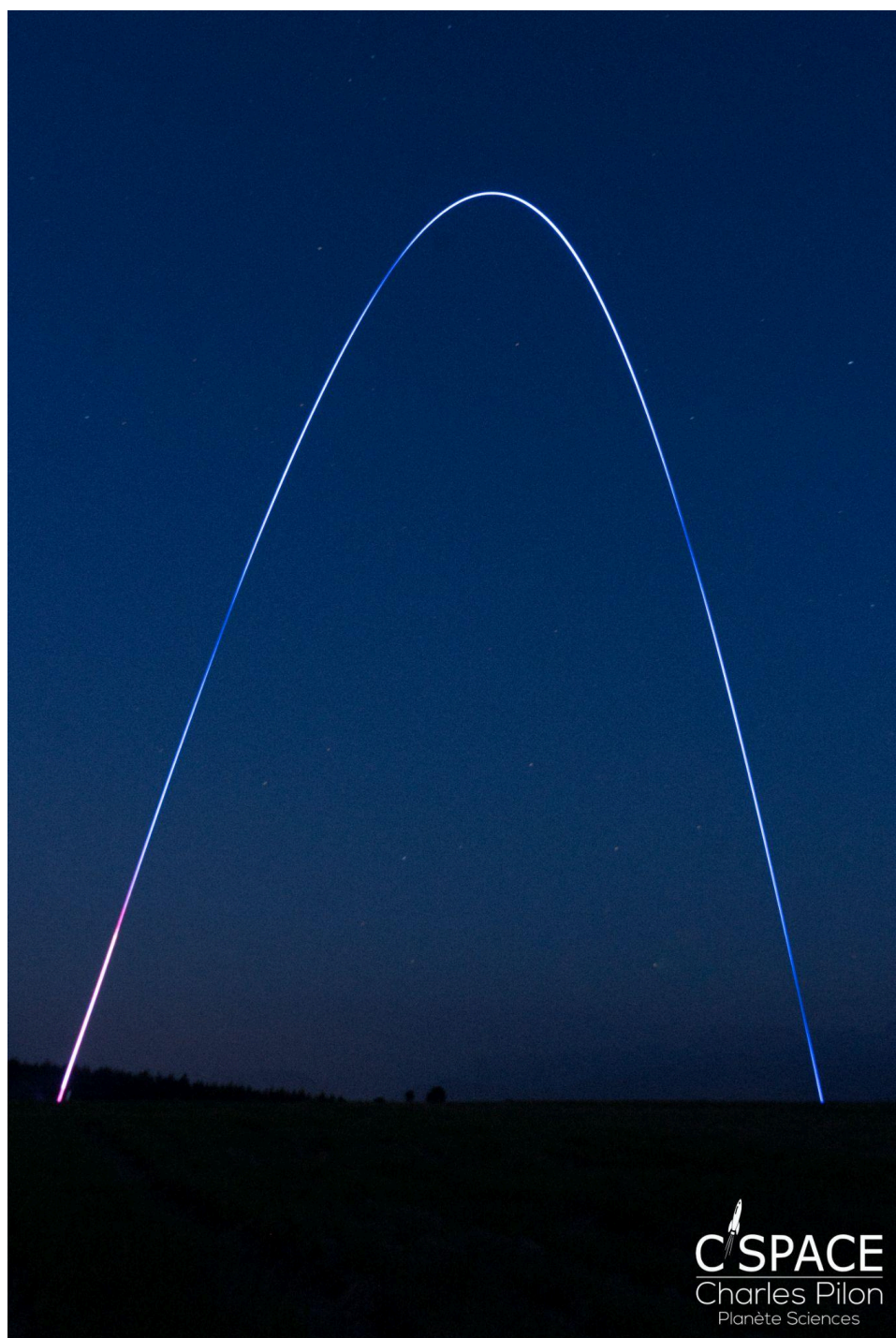


# Rapport projet Nyx

Matthieu Prigent

Bastien Jacques

*Un remerciement est adressé à tous ceux ayant contribué à la réalisation de ce projet, notamment Anas Himmi et Anas Daggag pour la programmation, Oscar Bousset pour les ailerons, Thomas Gamelin pour le parachute et Jean Choppin pour la pente parachute.*



# Sommaire

## Présentation du projet

## Electronique

## Mécanique

Architecture

Usinage du tube en plexiglass

Intégration élec

Porte et parachute

Coiffe

Stabtraj et ailerons

## Vol

Photos

Analyse des données

## Conclusion

# Présentation du projet

Nyx (initialement Nyxs, puis renommé Nyx) est un projet de mini-fusée tiré de nuit. Sa genèse remonte à novembre 2023, ou après le tir d'une fusée expérimentale l'année précédente, nous cherchions un défi à relever en mini-fusée, en parallèle de l'encadrement des nouveaux membres de notre club (qui ont réalisé la fusée expérimentale Sirius).

L'objectif était d'embarquer le maximum de puissance de LEDs possible dans une minifusée, et de faire varier leur couleur selon l'accélération subie par la minifusée.

# Electronique

## Architecture électronique

L'architecture électronique de Nyx se décompose en deux cartes :

### - Séquenceur :

Son unique objectif est de permettre l'éjection du parachute.

Elle est alimentée par sa propre batterie et son régulateur 5V.

La logique est réalisée par un ESP32.

Pour détecter le décollage on utilise la mesure d'accélération venant de la carte expérience au travers d'un optocoupleur.

Enfin, le système d'ouverture porte est actionné par un servomoteur MG90S.

### - Expérience :

Cette carte a pour objectif :

-d'alimenter des matrices de LEDS et changer leur couleur avec l'accélération.

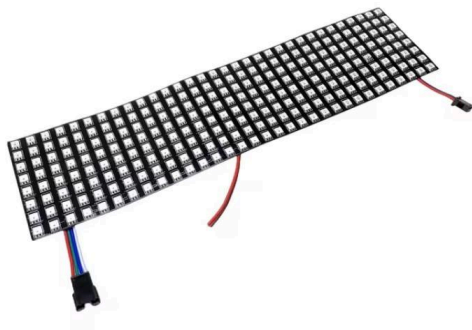
Pour cela, une Teensy 4.1 récupère les données d'accélération de l'IMU et les transmet aux matrices de LEDS.

Tout en haut de la fusée nous avions initialement prévu une sorte de "lampe torche" LED très puissante ainsi qu'un haut-parleur, qui n'ont pas été conservés dans le design final.

Pour ce qui est des batteries, la batterie du séquenceur est une batterie 2S 300mAh issue du commerce, mais nous avons réalisé notre propre batterie pour la carte expérience. Il s'agit d'une 3s2p en cellules lithium-ions 18650 que nous avons soudé nous-même avec un spot welder. Nous avons soudé des BMS 3S triangle sur chaque pack.

Les matrices de LEDs utilisées furent les suivantes (3 de ce type) :

#### DC12V WS2815 8x32 Panel



**21,99€** ~~45,81€~~ -51%

Vente en gros 5+ pièces, extra -5%

Le prix inclut la TVA | 2% de réduction bonus

Choisissez 30 articles et obtenez -5%

**12V WS2815 Pixel Écran 8X8 16X16 8X32 64/256Led RVB Programmable Individuellement Adressable Matrice Numérique Panneau D'affichage**

★★★★★ 5.0 1 Avis | 9 vendus

Couleur: 8 X 32



[Plus d'informations sur le prix](#)

L'alimentation était un vrai problème pour notre fusée, avec près de 100W de LEDs. Les deux astuces utilisées pour alimenter 100W de LEDs dans un si petit volume furent les suivantes :

-Utiliser des matrices de LEDs WS2815 en 12V (en réalité entre 9.6V et 13V), ce qui permet de les alimenter directement en sortie d'une batterie 3S (entre 10V et 12.3V). Cela nous a permis de s'affranchir d'un lourd régulateur de tension, et le choix du 12V a permis de fortement limiter le courant (9A max) comparé à du 5V.

-Pour augmenter l'autonomie (en effet, 100W sur une batterie qui fait 72Wh, ça ne fait que 40 minutes) et limiter la chauffe (tout en blanc, la fusée montait jusqu'à 75°C), il a été choisi de limiter la luminosité des LEDs en phase prévol à seulement 30W. Pour cela, la fusée était éclairée uniquement en rouge, et à 1/8 de sa luminosité nominale.



Fusée avec les 100W de LEDs allumés. La photo ne rend pas honneur à la luminosité de la fusée, qui était difficilement regardable plus de 10s sans avoir mal aux yeux.

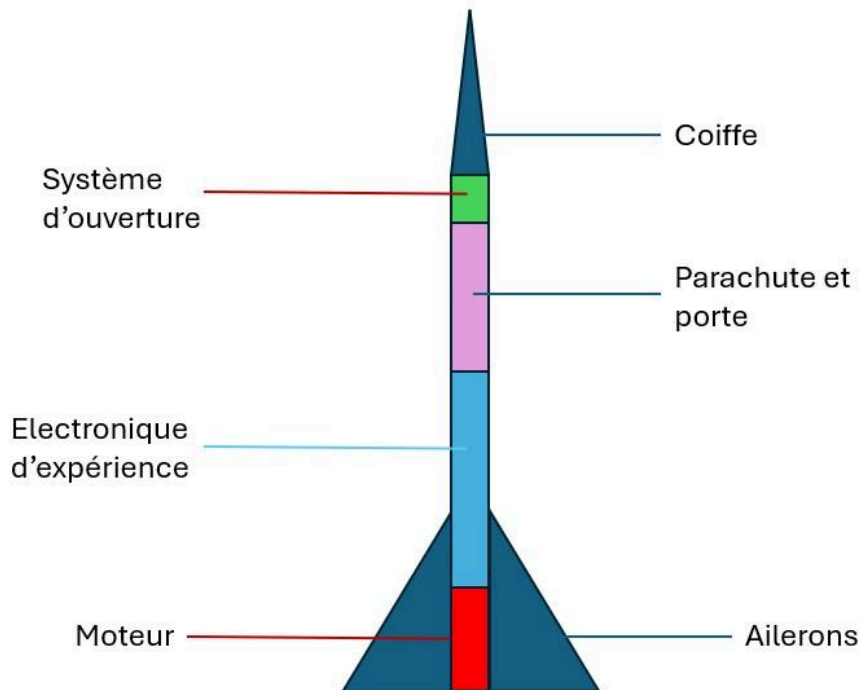
La programmation a été réalisée en arduino sur platformIO et se divise en 4 "features" :

- Obtenir les données de l'accéléromètre en temps réel
- Les traiter pour la détection de décollage
- Les utiliser pour ajuster la couleur des leds
- Les stocker sur la carte sd

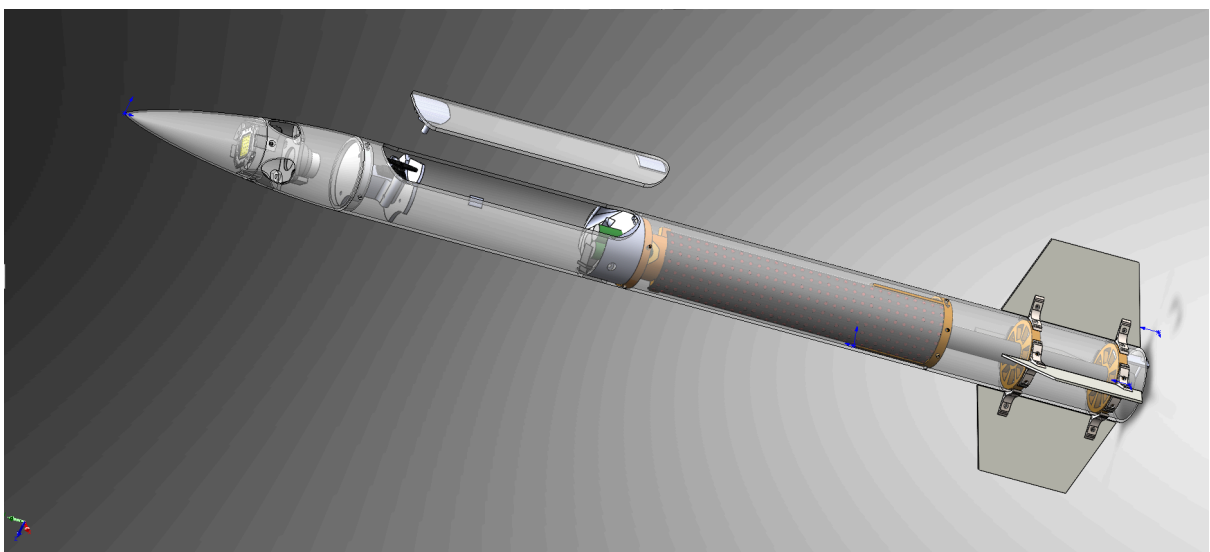
# Mécanique

## Architecture

L'architecture mécanique de Nyx est la suivante :



Le tube est en plexiglass, l'intérêt étant de pouvoir mettre les matrices de LEDs à l'intérieur de la fusée et non à sa surface. Le diamètre du tube fut un sujet de débat, le plexiglass étant rapidement lourd pour une mini fusée, mais un diamètre réduit rendant l'intégration difficile. Le diamètre retenu fut finalement de 80mm. Le Solidworks final était le suivant :

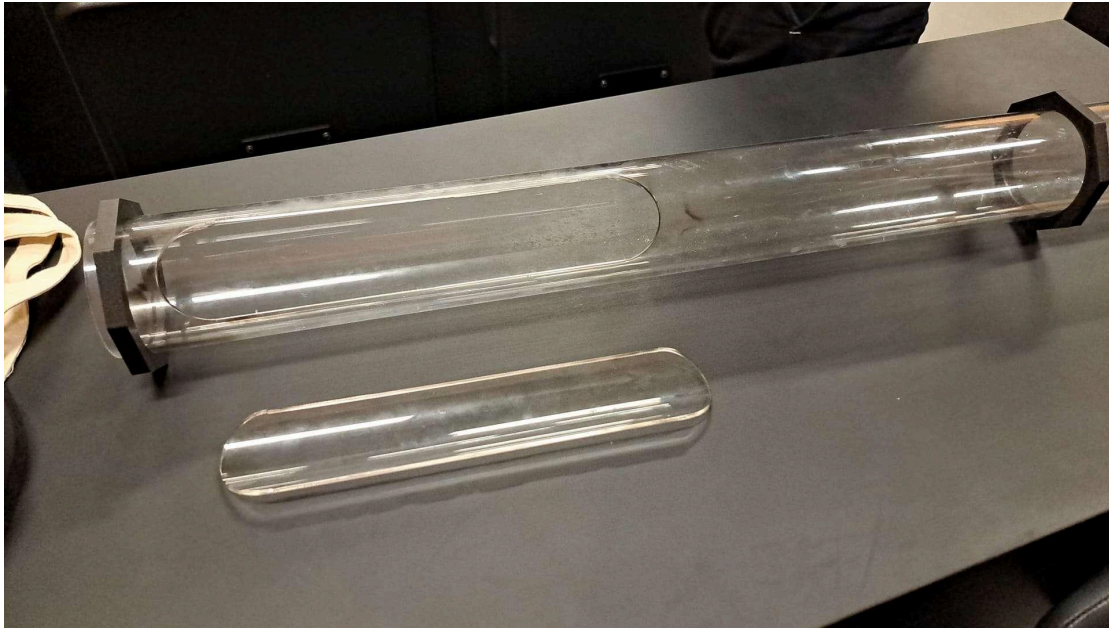




## Usinage du tube en plexiglass

L'usinage d'un tube en plexiglass présente la difficulté de fissurer le tube s'il n'est pas fait correctement avec une perceuse ou une dremel. Afin de contourner cette difficulté, l'usinage du tube fut entièrement réalisé à la découpeuse laser.

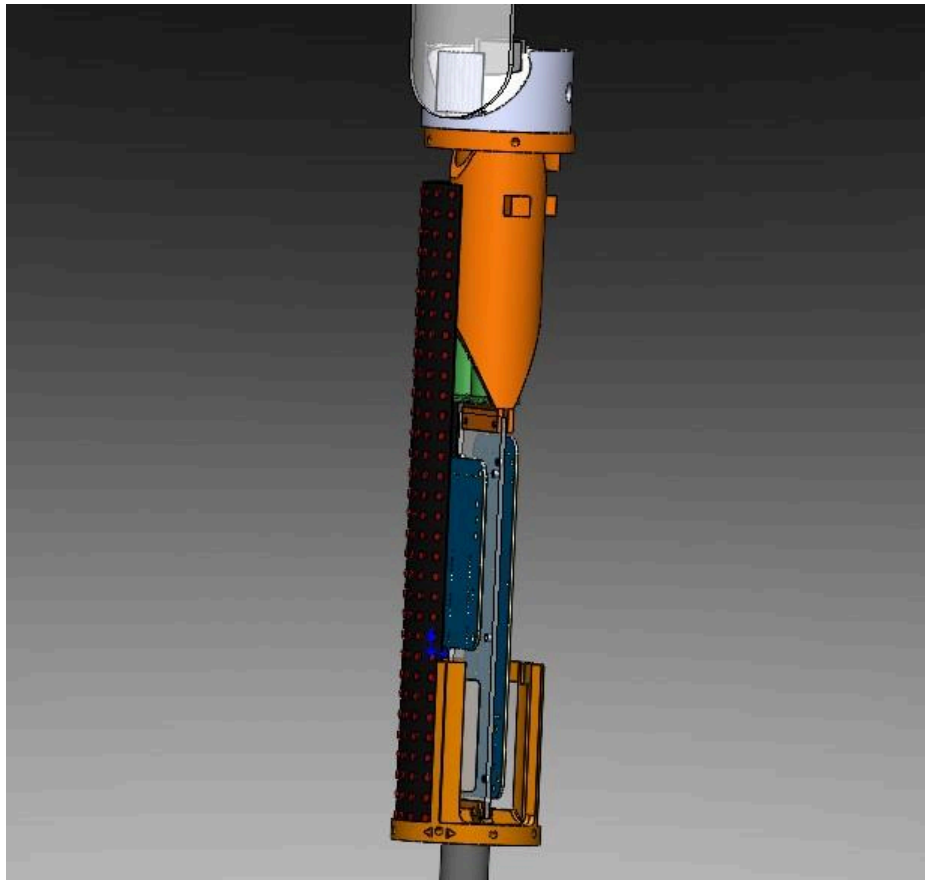
Afin que le laser ne traverse pas le tube de part en part, une plaque "martyr" était placée à l'intérieur. Après plusieurs ajustements, la stratégie de la découpeuse laser se révéla gagnante sur certains points (le découpage de la porte fût très précis par exemple), mais non exempt de défauts. Le principal fût la précision angulaire de perçage.



L'idée était que pour percer le tube de manière régulière (tous les  $45^\circ$ ), des bagues censées "basculer" le tube tous les  $45^\circ$  furent utilisées dans la découpeuse laser. L'idée était de percer un trou, puis basculer le tube de  $45^\circ$ , percer, basculer, ect... Cependant, le fond de la découpeuse laser n'était pas plat mais était une grille, et donc lors de chaque basculement, un léger décalage avait lieu car il y avait du glissement. La précision angulaire était donc de  $45^\circ \pm 5^\circ$ . Une mesure de la position de tous les trous sur le tube fût donc réalisée à la main après le perçage (et ce fût chronophage). Poser une plaque au fond de la découpeuse laser avant de lancer l'usinage aurait prévenu assez simplement ce problème.

## Intégration élec

L'intégration électronique de Nyx fût probablement le plus grand challenge de cette minifusée, à cause de la quantité de systèmes à embarquer dans un volume réduit.



On peut voir sur l'image précédente la case électronique de Nyx, qui représentait la majorité de son volume interne et de sa masse. De bas en haut on aperçoit :

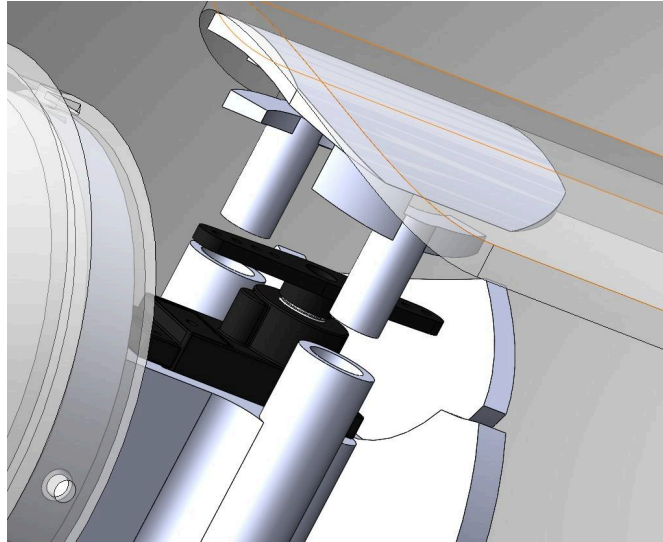
- la bague de reprise de poussée, qui sert également de guide aux matrices de LEDs
- une plaque de plexiglass servant de supports aux deux cartes électroniques
- le support de batterie contenant les cellules 18650
- la pente parachute tout en haut.

Toutes ces pièces ont été réalisées en PETG en impression 3D. Enfin, on aperçoit une matrice de LEDs sur la gauche, en réalité 3 matrices entouraient l'intégralité de cette partie de la fusée. Une fois les câbles ajoutés entre les matrices, les cartes et les batteries, cette partie de la fusée était pratiquement pleine et extrêmement difficile à assembler (notamment à cause de la souplesse des matrices de Leds, qui avaient la fâcheuse tendance à vouloir se tordre dans la fusée).



## Porte et parachute

Le système d'ouverture porte consistait en un double béliet sur ressorts, dans lequel venait se verrouiller les bras d'un servomoteur (voir photo suivante).

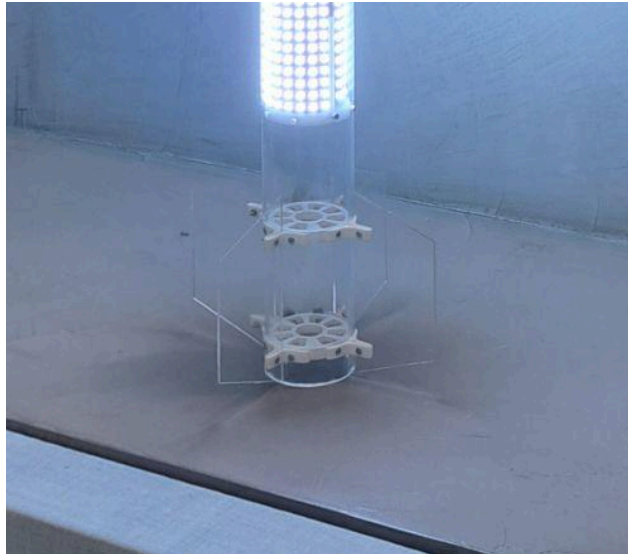


Les tests au sol ont montré une fiabilité de ce système (ouverture coup sur coup), mais nous y reviendrons... La porte était également retenue par en bas par une petite dent qui basculait lorsque le servomoteur se déverrouillait.

Pour ce qui est du parachute, il était initialement prévu de réutiliser le parachute d'un projet précédent. Finalement, le parachute fût oublié sur Paris lors du départ pour le C'Space, un nouveau parachute fût donc fabriqué sur place. Il utilisait notamment des rondelles métalliques et de la colle cyano en guise d'œillet, système qui s'est révélé plus résistant que des œillets bas de gamme. Malheureusement, nous n'avons pas de photo de ce parachute au moment d'écrire ces lignes.

## Stabtraj et ailerons

Une erreur fût commise au moment de réaliser le stabtraj de Nyx : un stabtraj modifié pour le vol supersonique fût utilisé, au lieu d'un stabtraj vierge. Les ailerons ont donc été fortement sous-dimensionnés lors de leur découpe. Ils étaient à ce moment-là en plexiglass.



L'erreur ayant été découverte au C'Space, voici le stabtraj final refait au C'Space :

**Planète Sciences**

**STABILITO**  
Stabilité de fusée à ailerons

Remplir les cases jaunes

| Fusée           |                   |
|-----------------|-------------------|
| Nom             | Nyx               |
| Club            | Matthieu          |
| Matricule       | MF 0              |
| Type            | Minifusée         |
| Masse           | 2077 g sans propu |
| Centre de Masse | 700 mm sans propu |
| Longueur totale | 1153 mm           |

| Propulseur      |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Type            | Pandora (Pro24-6G BS) |
| Position du bas | 1153 mm               |

| Coiffe   |                   |
|----------|-------------------|
| Forme    | Ogivale (pointue) |
| Hauteur  | 255 mm            |
| Diamètre | 80 mm             |

| Ailerons        |         |
|-----------------|---------|
| Mono-empennage  |         |
| Emplanture 'm'  | 170 mm  |
| Saumon 'n'      | 130 mm  |
| Flèche 'p'      | 20 mm   |
| Envergure 'E'   | 105 mm  |
| Épaisseur 'ep'  | 3 mm    |
| Nombre          | 4       |
| Position du bas | 1149 mm |

Centre de Masse

Marge Statique

Portance

Envergure

Flèche

Saumon

Emplanture

Language/Langue: Français

Fusée mono-diamètre,

|             | Propu plein | Propu vide | Sans propu |
|-------------|-------------|------------|------------|
| Masse propu | 0,16 kg     | 0,084 kg   | -          |
| CdM propu   | 114 mm      | 114 mm     | -          |
| Masse fusée | 2,237 kg    | 2,161 kg   | 2,077 kg   |
| CdM fusée   | 724 mm      | 713 mm     | 700 mm     |

|          | XCp     | Cno  |
|----------|---------|------|
| Coiffe   | 119 mm  | 2,0  |
| Ailerons | 1026 mm | 15,8 |

|            | Min   | Résultats | Max    |
|------------|-------|-----------|--------|
| Finesse    | 10    | 14,4      | 20     |
| Portance   | 15    | 17,8      | 30     |
| Marge Stat | 1,5 D | 2,50 D    | 2,64 D |
| Couple     | 30    | 44,7      | 47,1   |
| XCp        |       | 925 mm    | 925 mm |
| MS /L      |       | 17% L     | 18% L  |

**STABLE**

Diagramme des critères de stabilité

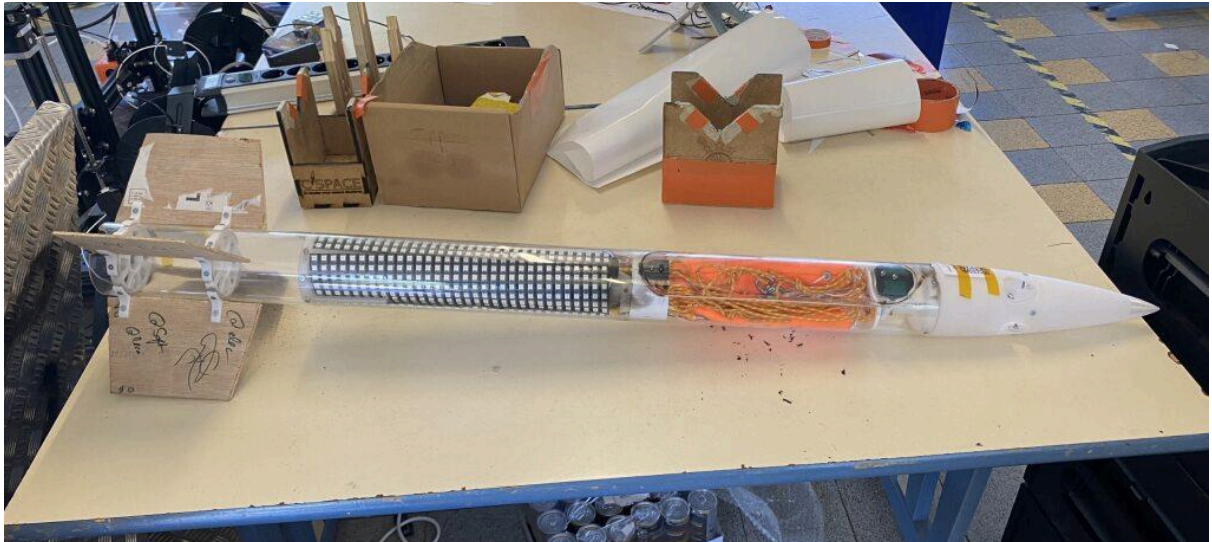
Portance Cno

Marge Statique (MS)

Checksum: propu OK

v3.4.5

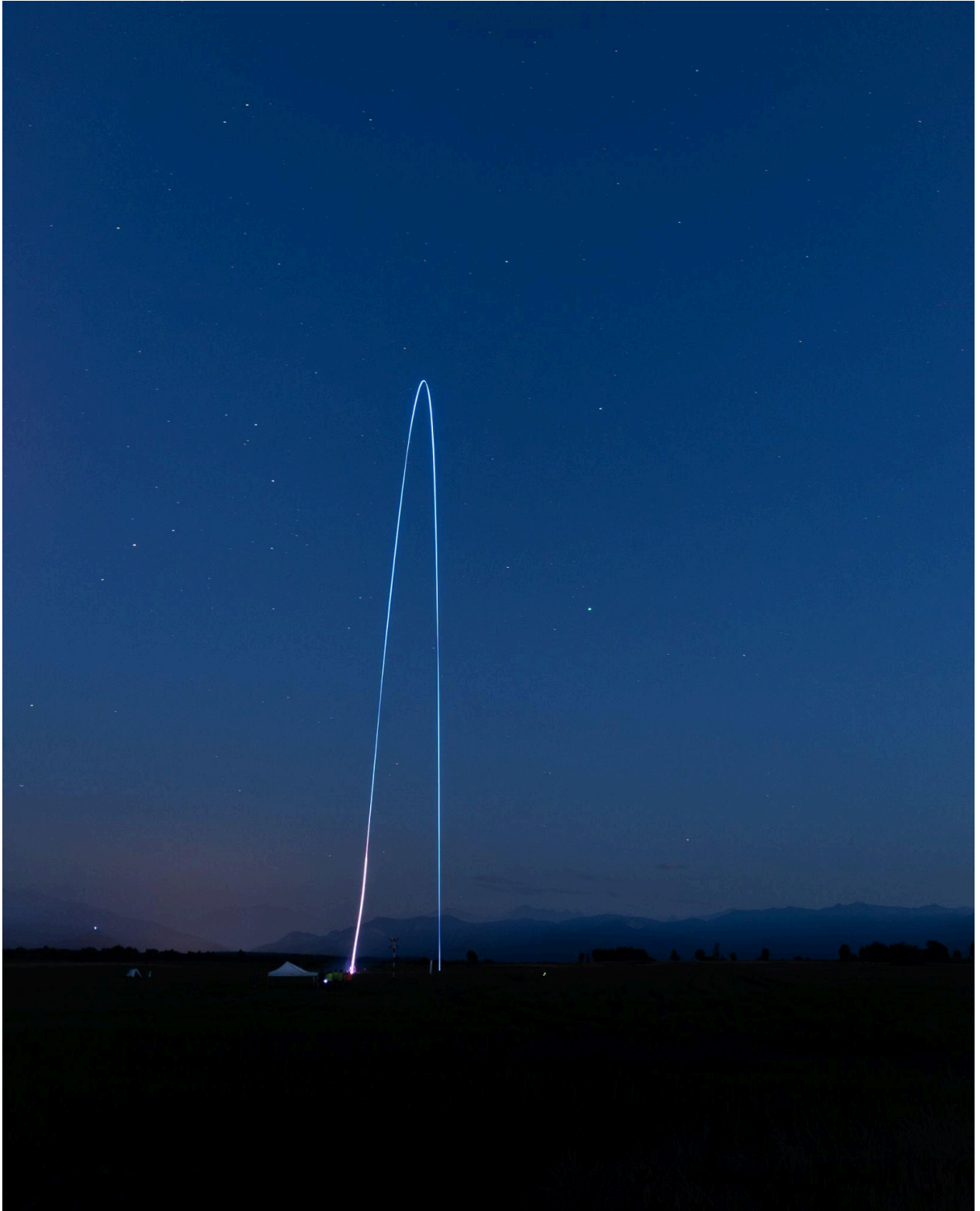
Les ailerons ont donc dû être redécoupés au C'Space dans du contreplaqué 3mm. Pour conclure ce chapitre Mécanique, voilà une photo de Nyx quelques heures avant le vol :

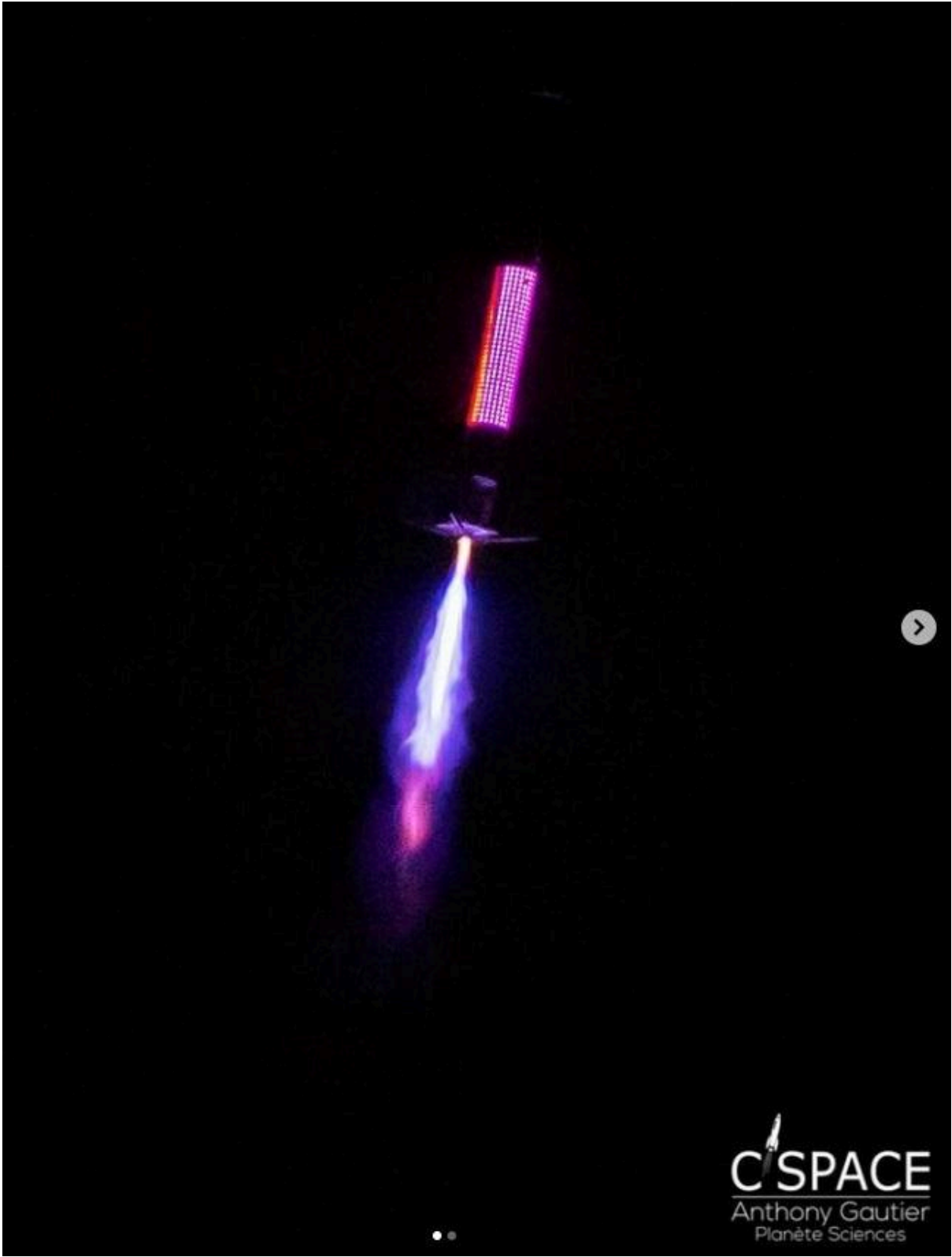


Le look n'est pas le plus glamour qu'elle ait pu avoir, mais l'essentiel est là.

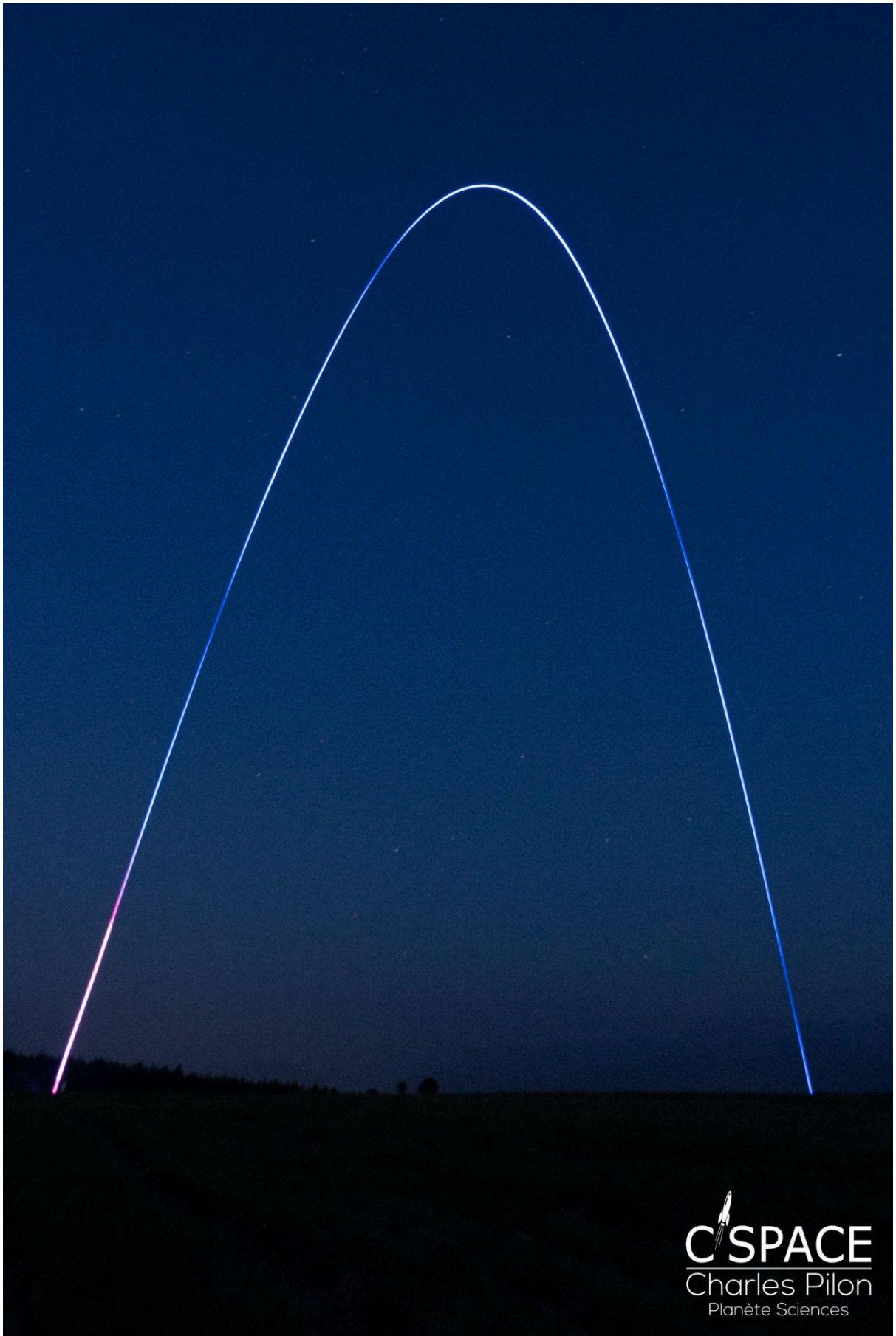
# Vol

## Photos



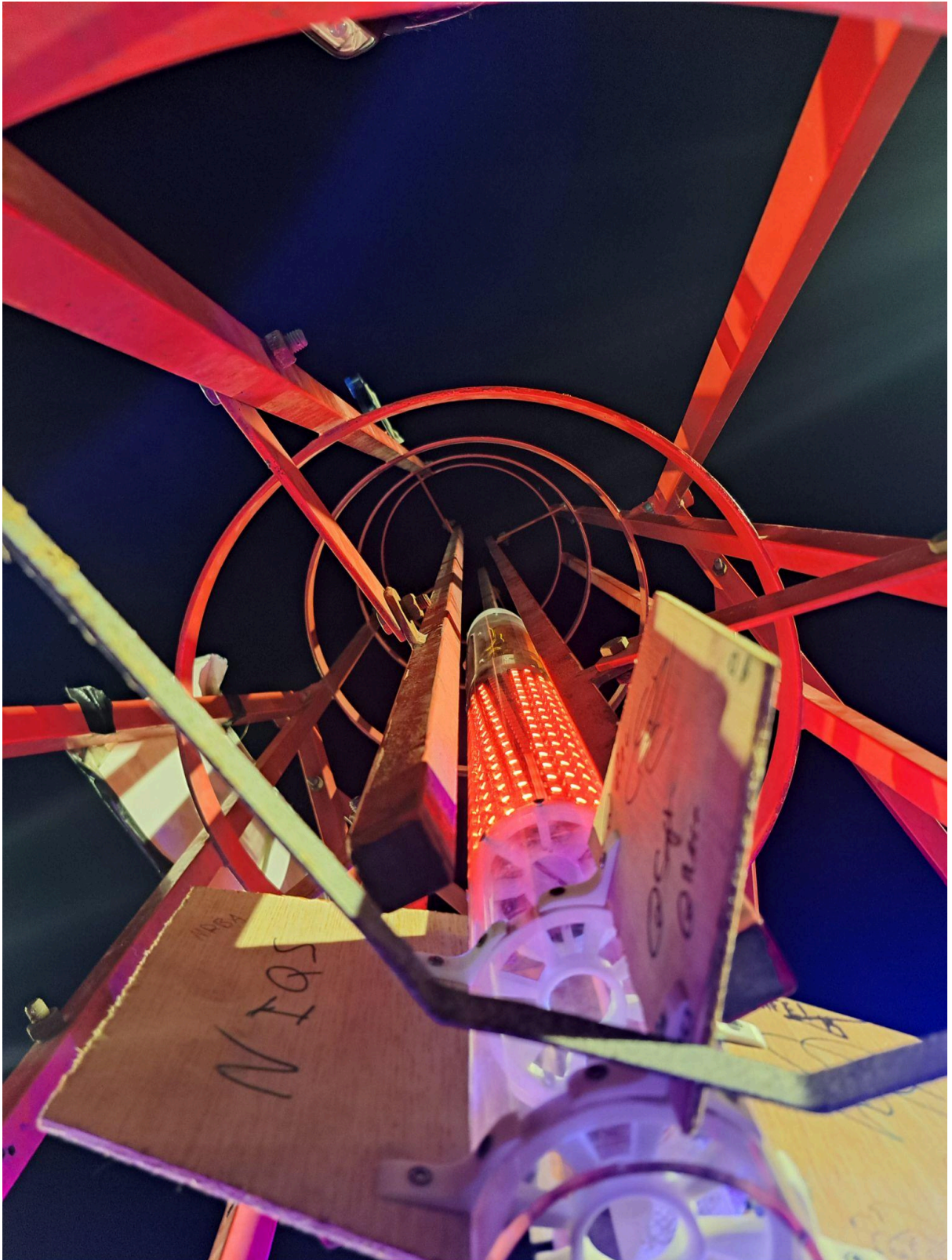




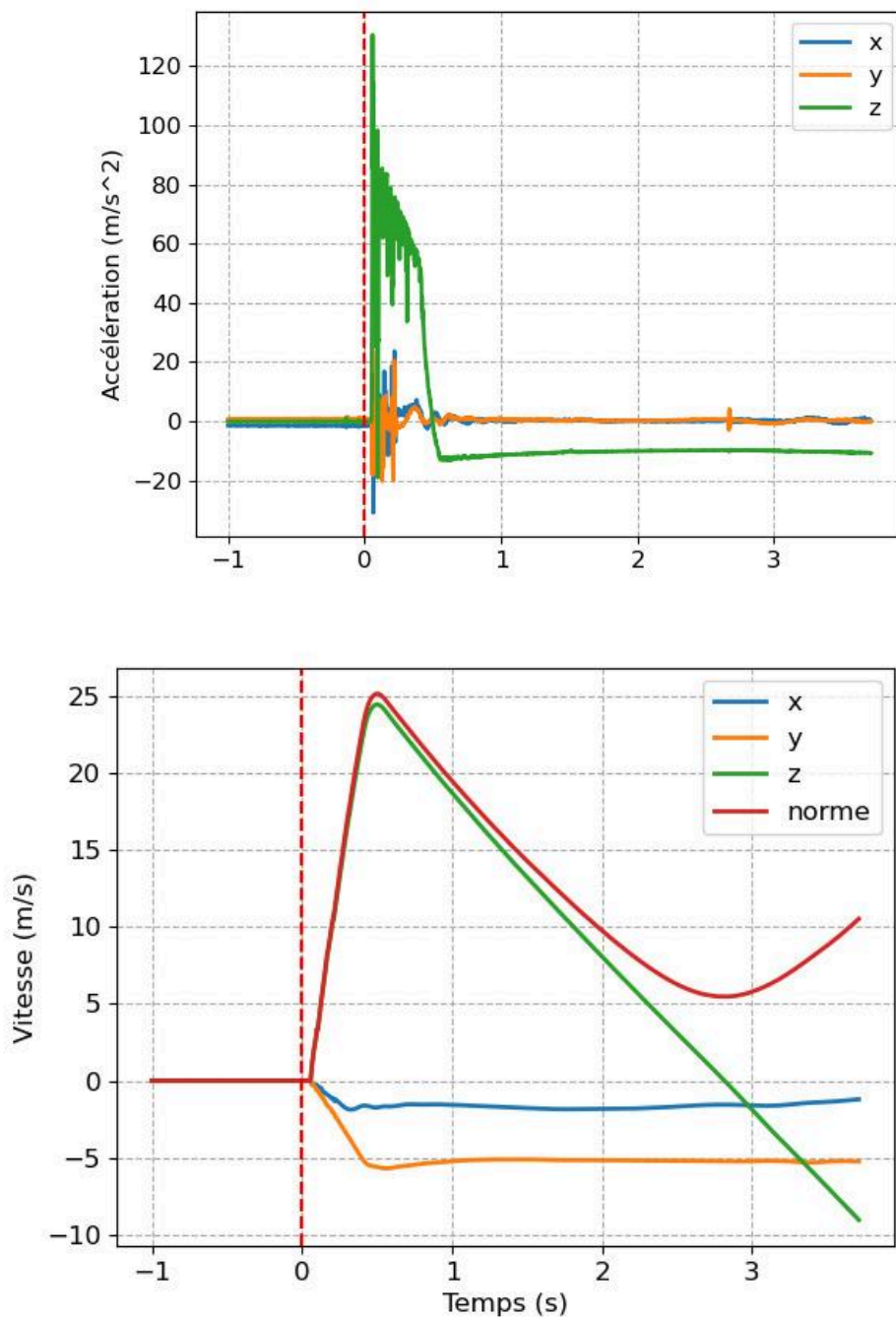


 **CSPACE**  
Charles Pilon  
Planète Sciences

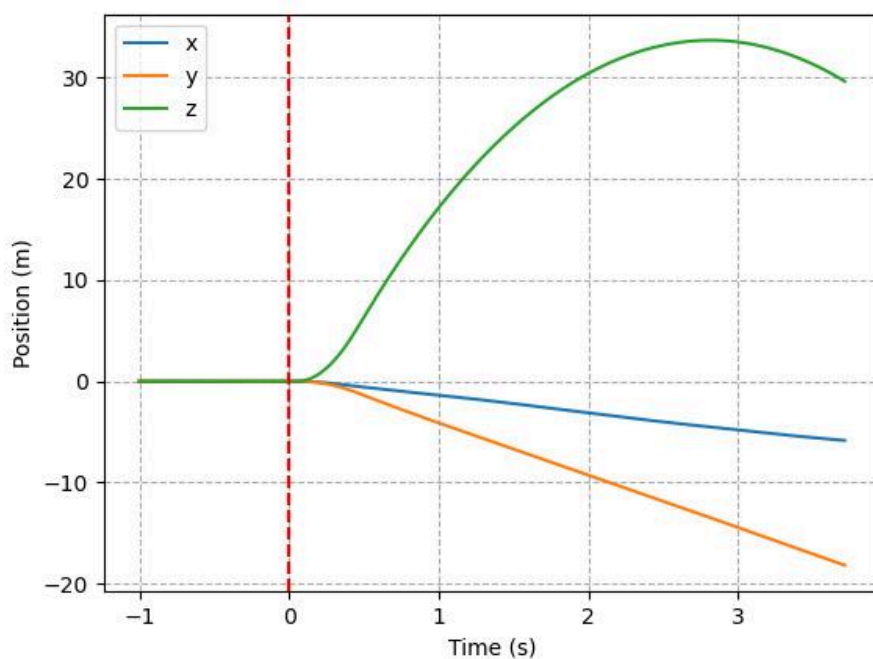
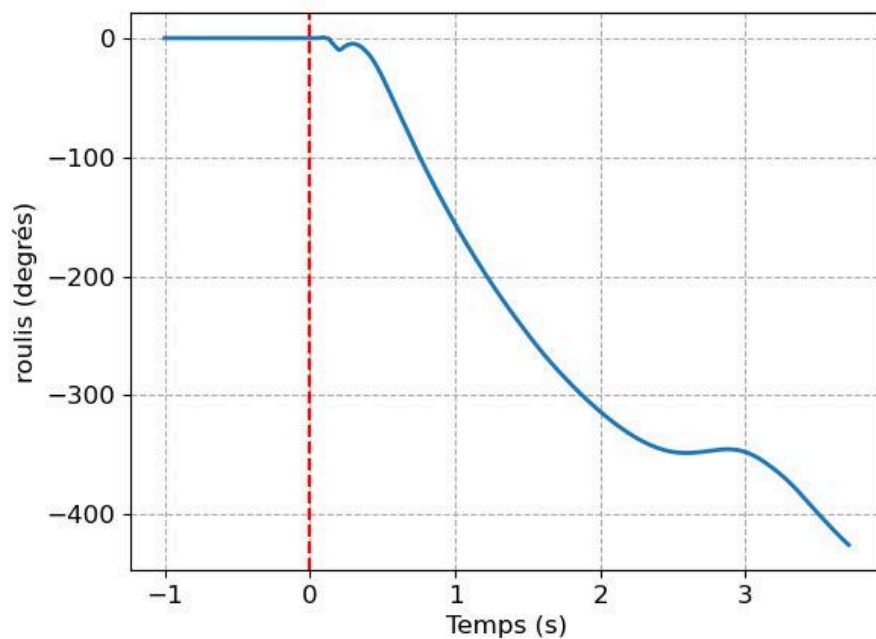




## Analyse des données



L'accéléromètre embarqué nous a retourné des valeurs loin de celles attendues par le stabtraj. De plus, la carte expérience a arrêté de fonctionner après 4s de vol.



Une analyse des photos et vidéos prises depuis le sol nous confirme que ces données sont erronées, et que la minif a bien suivie une trajectoire proche de celle attendue par le stabtraj (apogée à 150m à 6s, impact balistique à 11s). L'analyse des photos nous donne tout de même la rotation de la fusée durant le vol (environ 4 tours), à l'aide des zones où la trajectoire devient plus sombre. L'algorithme de traitement des données postvol donnant des résultats cohérents pour d'autres données de fusex, n'est pas à mettre en cause.

# Conclusion

Malgré un vol balistique, nous estimons que le projet Nyx est une réussite, nous ayant permis de lancer une fusée de nuit, avec de belles photos à la clé. Nous n'avons malheureusement pas pu déterminer la cause du balistique, si cela est un problème de blocage mécanique ou de non déclenchement électronique.

Un regret réside dans le choix de l'affichage de l'accélération. En effet, l'accélération est forte uniquement lorsque le moteur est actif, et donc que sa flamme brille, ce qui "écrase" la couleur affichée par les LEDs. De plus, le reste du vol, une fois le moteur éteint, ce qui représente la majorité de la trajectoire, est lui monochrome, ce qui est peu intéressant. Un conseil aux futurs projets de nuit serait donc de ne pas faire ce choix de l'accélération.

Enfin, merci aux bénévoles de Planète Science pour leur incroyable travail qui permet de rendre ce genre de projets possible !