



Projet Xenon

Rapport de vol

ESILV Pôle Léonard de Vinci

Contents

1	Introduction	1
1.1	Équipe	2
1.2	Acteurs du projet	3
2	Partie Mécanique	4
2.1	Architecture générale	4
2.2	Fabrication	5
3	Expérience	9
3.1	Objectif de l'expérience	9
3.2	Déroulé de l'expérience	9
3.3	Résultats de l'expérience	9
3.4	Réalisation du système d'aérofreins	9
3.5	Calcul du coefficient de trainée (CFD)	10
4	Déroulement du vol	12
5	Analyse du vol	12
6	Conclusion	13
7	Remerciements	14

1 Introduction

Pour la sixième année consécutive, notre association a participé à la campagne de lancement C'Space 2023, un projet de construction et de lancement d'une fusée expérimentale proposé par le CNES (le Centre National d'Etudes Spatiales) et Planète Sciences. Ce projet consiste à construire intégralement une fusée (de type Fusex) respectant un cahier des charges préalablement défini. A son bord, la fusée doit abriter une expérience. Cette année, nous avons décidé de travailler sur le contrôle d'altitude via un système d'aérofreins.

1.1 Équipe

Considérant la multitude de disciplines concernées par le projet, nous nous devons de réunir une équipe de choc :



Figure 1: L'équipe du C'Space 2023

- Chef de projet : Raphaël
- Directeur technique avionique : Raphaël
- Directeur technique Méca : Thomas D / Ethan
- Chef projet structurel : Mathis
- Equipe avionique : Thomas C
- Equipe méca : Corentin
- Equipe méca : Ethan
- Equipe méca : Thibault
- Equipe méca : Elisa

1.2 Acteurs du projet

- LéoFly

LéoFly est une jeune association d'aéronautique et d'aérospatiale fondée en novembre 2015. Elle a pour objectif de rassembler les étudiants du Pôle Léonard de Vinci (à Paris La Défense) autour de leur passion commune. Pour ce faire, les membres du bureau proposent de nombreux projets techniques (réalisation d'un cockpit de simulation à taille réelle, d'une aile volante autonome, etc.) dont certains sont en collaboration avec le CNES (Mini Apterros, ROAR et C'Space) ainsi que des conférences et des visites dans le domaine de l'aéronautique ou du spatial.



- Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)

Le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) est un établissement public à caractère industriel et commercial chargé d'élaborer et de proposer au gouvernement le programme spatial français et de le mettre en œuvre.



- Planète Sciences

Planète Sciences est une association à but non lucratif proposant aux jeunes passionnés des activités scientifiques et techniques expérimentales, grâce à différents projets durant leurs études. Cette année, Planète Sciences nous a encadré grâce à 3 réunions techniques et de contrôle, ce sont les «Rencontre Club Espace» dites «RCE». Les bénévoles sont également présents sur le Camp de Ger (lieu de la campagne C'Space pour l'édition 2023) pour nous apporter des conseils et pour effectuer les vérifications techniques imposées par le cahier des charges avant de procéder au décollage.



2 Partie Mécanique

2.1 Architecture générale

La structure de XENON est en 2 parties distinctes reliées par un système de séparation. Les 2 parties de la fusée forment un ensemble de 2000 mm de longueur, d'un diamètre intérieur de 150 mm et extérieur de 153 mm en fibres de carbone et fibres de verre. Le tube a été sous traité par l'entreprise Mateduc Composites.

A la base de la fusée, nous retrouvons la bague de reprise de poussée qui, couplée avec une bague de fixation en aluminium, achetée chez AeroPack, empêche tout mouvement vertical du propulseur, un Pro75 fourni par le CNES. Pour contrer tout mouvement sur son axe horizontal, nous avons usiné deux bagues de centrage en aluminium, fixées au tube par de la colle composite. Nous les avons positionné à la bonne hauteur grâce à 3 tiges filtées. La partie haute de la fusée comprend le bloc parachute. La partie passe comprends le système de séparation, l'ensemble de l'électronique, le système d'aérofrein et les ailerons. Afin de faciliter l'intégration et de la désintégration de la fusée ainsi qu'optimiser la traînée, nous avons limité l'utilisation de vis. En effet aucune vis ne traverse directement le tube et aucune vis ne dépasse du corp de la fusée. Nous avons également séparé les systèmes en bloc : le bloc aérofrein, le bloc séparation et le rack elec qui se fixe entre les deux autres blocs.

Enfin, au-dessus du corps supérieur, se trouve l'ogive (d'une hauteur de 400 mm et d'un diamètre extérieur de 153 mm) sous laquelle se trouve le parachute.

Notre fusée est dotée de trois ailerons, qui ont d'abord été imprimés en 3D en 2 parties, puis colés et enfin drapés de fibre de carbone autour du tube aileron afin d'en faire un monobloc sans attache. Enfin, ils ont été poncés, renforcés avec de la fibre de verre en vrac et paint.

Planète Sciences a développé une feuille de calculs permettant de vérifier si le dimensionnement des ailerons de notre fusée respectait bien les critères de stabilité instaurés par le cahier des charges. Ce fichier prédit par la même occasion la trajectoire de la fusée.

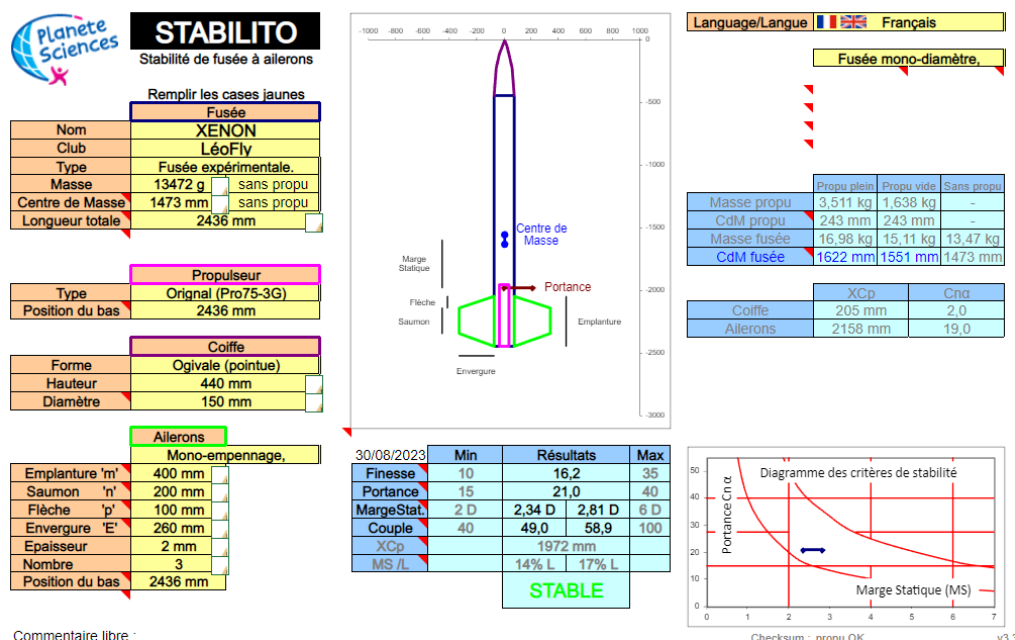


Figure 2: Dimensions des ailerons de la fusée

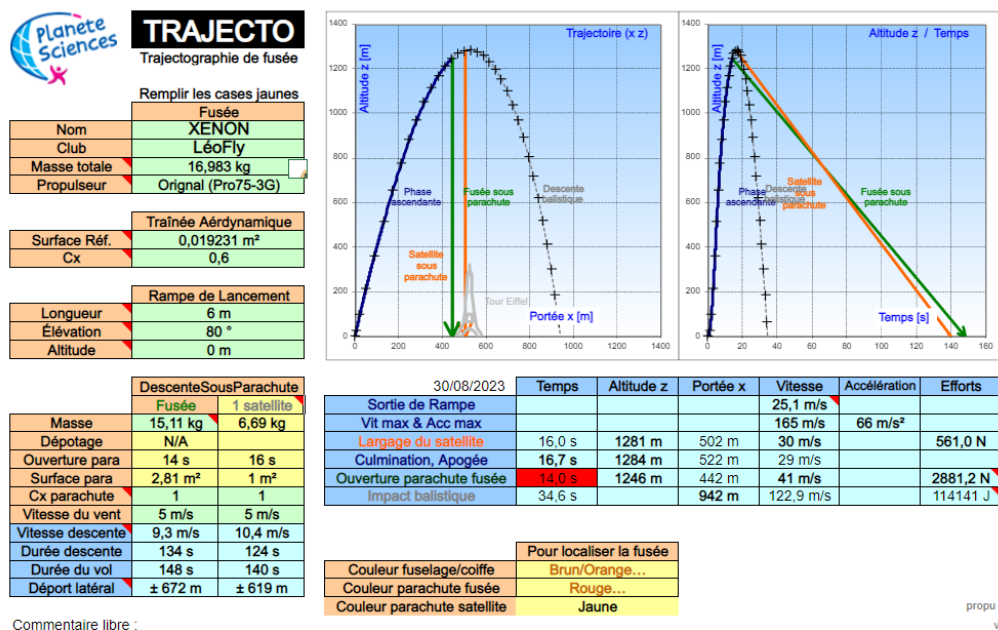


Figure 3: Trajectoire théorique de la fusée

2.2 Fabrication

• Processus de Fabrication

Nous avons réalisé l'ensemble de nos pièces grâce au centre d'usinage de notre école. A partir d'un brut cylindrique en aluminium de 160 mm de diamètre et d'un pavé d'aluminium, nous avons usiné les différentes bagues de la fusée. Cette année, nous n'avons pas eu besoin d'usiner des supports pour les ailerons car nous avons un tube aileron en monobloc carbone. Nous avons à disposition une scie à ruban pour sectionner, un tour manuel pour différentes opérations : surfacages, alésages, contournages, gorges (etc..) ainsi qu'une fraiseuse 3-axes manuelle, une machine-outil 3-axes à commande numérique par ordinateur et un tour à commande numérique. Les machines à commande numérique permettent d'usiner des formes complexes sans démontage de la pièce à partir d'un G-Code généré par les opérations d'usinage que nous définissons dans la FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) des pièces sur 3Dexperience.



Figure 4: Centre d'usinage du Pôle Léonard de Vinci



Figure 5: Usinage de la bague elec

- Tubes en carbone et fibre de verre

La fusée a donc été assemblée à partir de 3 tubes : le tube parachute de 439mm en carbone, le tube elec de 515mm en fibre de verre afin de laisser passer les ondes et le tube aileron de 600mm en carbone. Du fait des fortes contraintes mécaniques que va subir le corps de la fusée durant le vol et des dimensions importantes du tube, nous avons décidé de sous traiter la réalisation de ce dernier à l'entreprise Mateduc Composites. Le tube est réalisé à partir de fibre T700 avec une couche en orientation transversale et deux allers-retours à $\pm 20^\circ$ sur un diamètre intérieur de 150 mm et une épaisseur de 1.5 mm.

Note pour LéoFly de 2PI R: Mateduc nous a facturé dans leur premier devis un forfait de programmation de trajectoire fibre, forfait non facturé sur Skyception, Atomic et Pulsar. Envoyez nos anciennes factures pour essayer d'avoir une réduction. De même pour la facturation d'usinage si jamais vous

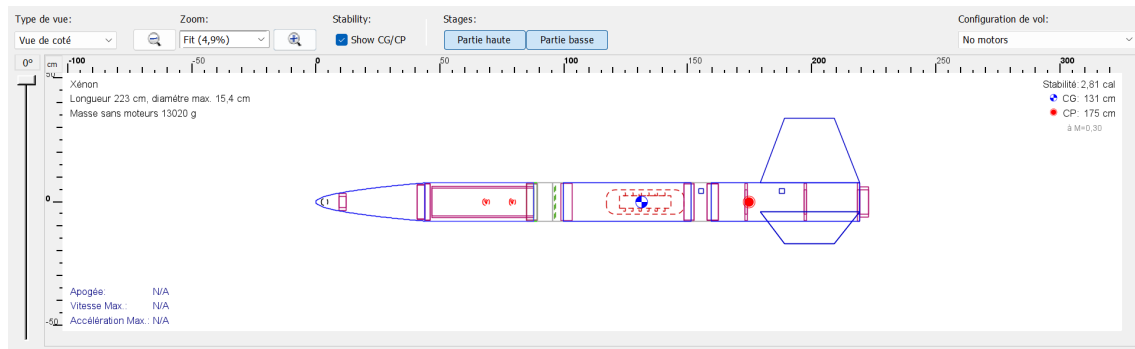


Figure 6: OpenRocket XENON

voulez un tube en deux parties, nous n'avons pas payé de frais supplémentaires sur les trois premières Fusex.

Note : Mateduc est capable de réaliser uniquement des tubes à diamètre interne multiple de 5 mm.

- Ailerons

Les ailerons jouent un rôle clef au cours du vol, car ce sont eux qui garantissent la bonne stabilité de la fusée durant son ascension. Après plusieurs simulations sur StabTraj, nous avons choisi de donner à nos ailerons une forme de trapèze parfait avec un profil de type NACA assez épais pour pouvoir les mouler.

La première étape consiste à imprimer en 3D les ailerons (impressions en PLA). Nous avons imprimé en 2 parties chaque aileron car ils étaient trop gros pour les imprimantes MK3.



Figure 7: ailerons

Ensuite nous superposons deux couches de carbone sur le moule en plastique à l'aide de résine époxy pour consolider la structure.

Nous avons initialement prévu un moule en 3 parties autour des ailerons pour le séchage mais nous n'avons pas pu les imprimer faute de temps. Nous avons donc fait sans en laissant sécher pendant 24h les ailerons drapés à l'air libre. Note : le résultat était plus que satisfaisant, les ailerons étaient en effet très solide et ont passé les qualifications avec succès.

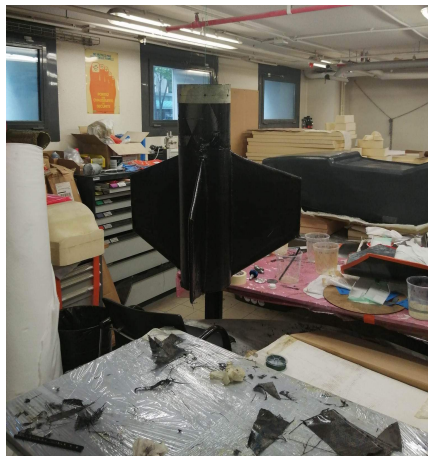


Figure 8: Drappage carbone

Enfin, nous éliminons le surplus de carbone sur les bords à l'aide d'une Dremel et nous finissons par les poncer pour qu'ils soient les plus lisses et donc les plus aérodynamiques possible avec du papier de verre. Cette année nous n'avons malheureusement pas collé de magnifiques autocollants ananas.



Figure 9: Ailerons finaux

3 Expérience

3.1 Objectif de l'expérience

Pour cette année, LéoFly a eu pour objectif de réaliser un contrôle d'altitude par aérofreins. Plus concrètement, le but est de contrôler l'altitude de Xénon et d'atteindre l'apogée le plus proche de 1000 m. Pour ce faire, un nouveau système innovant d'aérofreins a été imaginé et fabriqué par LéoFly afin de freiner la fusée jusqu'à l'altitude visée.

3.2 Déroulé de l'expérience

Xénon est propulsée par un Pro75 durant 4.55 secondes. A partir de la fin de la combustion, l'expérience peut se dérouler puisque les aérofreins fonctionnent seulement entre la fin de la combustion et l'apogée. Durant cette phase de contrôle d'altitude, un algorithme calcule en temps réel la nouvelle apogée de Xénon :

- Si l'apogée calculée est au dessus de 1000 m : les aérofreins s'ouvrent.
- Si l'apogée calculée est en dessous de 1000 m : les aérofreins se ferment.

L'apogée est calculée en temps réel en résolvant numériquement l'équation différentielle de la trajectoire de la fusée en fonction de l'altitude mesurée en temps réel :

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg - 0.5\rho(z)SC_x \left(\frac{dz}{dt}\right)^2$$

$$\text{Avec, } \rho(z) = \frac{0.028966}{8.31451} \frac{P_{rampe}}{T(z)} \left(1 - \frac{0.0065z}{T_{rampe}}\right)^{\left(\frac{0.028966g}{8.31451*0.0065}\right)}$$

Tous les paramètres de cette équation différentielle sont connues, dont le coefficient de trainée calculée numériquement par CFD (Computational Fluid Dynamics). De plus, l'altitude de Xénon est calculée à l'aide d'un capteur de pression et de température BPM 280. Voici l'équation liant la pression à l'altitude :

$$P = P_{rampe} \left(\frac{T_{rampe} - (z - z_{rampe}) \frac{0.0065}{8.31451*0.0065}}{T_{rampe}} \right)^{\frac{0.028966g}{8.31451*0.0065}}$$

3.3 Résultats de l'expérience

En théorie, selon le StabTraj, Xénon devait atteindre son apogée sans ouverture d'aérofreins à 1284 m après 16.7 secondes. En pratique, le contrôle d'altitude par l'ouverture des aérofreins fait atteindre l'apogée plus tôt que la théorie. C'est ce que nous avons observé en distinguant dans la vidéo du décollage de Xénon, que l'apogée a été atteinte au bout d'environ 10 secondes. L'ouverture des aérofreins a donc bien fonctionné !

Malheureusement, nous n'avons récupéré seulement la partie haute la fusée, alors que la partie basse comportant le Rack Elec a fait un balistique. Ainsi, nous n'avons pas pu récupérer les données enregistrées durant le vol, et nous ne pouvons pas savoir à quelle altitude exacte Xénon a atteint son apogée...

3.4 Réalisation du système d'aérofreins

Le système d'aérofreins consiste en 3 plaques aérofreins s'ouvrant latéralement permettant d'augmenter la trainée de Xénon, et ainsi de contrôler l'altitude :



Figure 10: Système d'aérofreins ouvert

Les aérofreins s'ouvrent et se ferment simultanément à l'aide d'un servo moteur par l'intermédiaire d'une pièce à trois branches appelée tripode. Les aérofreins glissent grâce à un système de rails linéaires sur des charriots coulissants. Tout le système est tenu structuellement sur 2 bagues en aluminium collées aux tubes en carbones / fibre de verre.

L'avantage de ce tout nouveau système d'aérofreins est qu'il est compacte, léger, rapide et efficace.

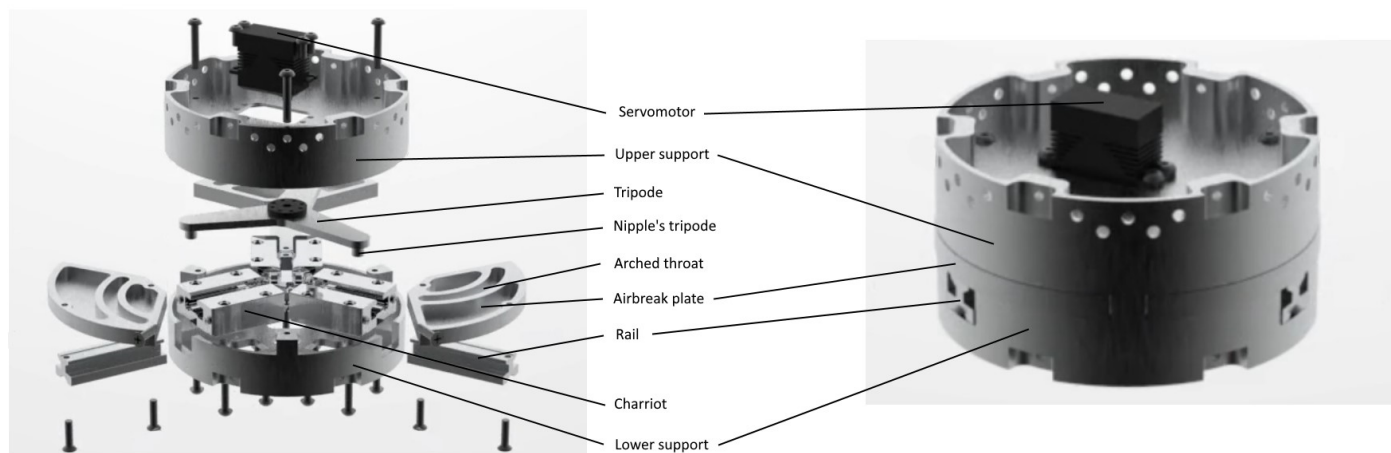


Figure 11: Modélisation 3D du système d'aérofreins

3.5 Calcul du coefficient de trainée (CFD)

Afin de prédire l'apogée de Xénon, il faut calculer le coefficient de trainée de la fusée avec et sans les aérofreins ouverts. Le calcul a été réalisé par CFD à l'aide du logiciel de simulation numérique Ansys Fluent.

Nous avons utilisé un modèle de turbulence k-omega, en vérifiant que le y^+ est inférieur à 1, à une pression statique de 95 000 Pa, et pour différents nombre de Mach. Les simulations ont été réalisées avec un régime incompressible pour un nombre de mach inférieur à 0.3 et avec un régime compressible pour un nombre de mach supérieur à 0.3. Pour la même surface de référence, nous obtenons ces résultats suivants :



Figure 12: Résultats numériques du Coefficient de trainée par CFD

Nous remarquons donc une trainée de la fusée d'environ deux fois plus importante avec aérofreins ouverts par rapport à la fusée avec aérofreins fermés.

Finalement, grâce aux résultats des simulations CFD, nous pouvons également observer les lignes de courants passant autour des aérofreins ainsi que la pression exercée sur les parois de la fusée :

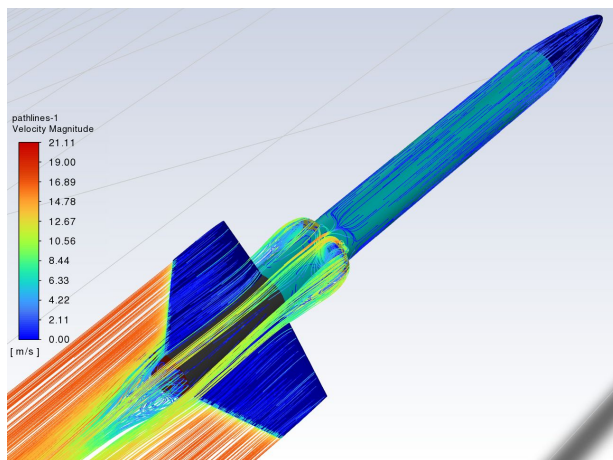


Figure 13: Lignes de courant autour des aérofreins à Mach 0.05

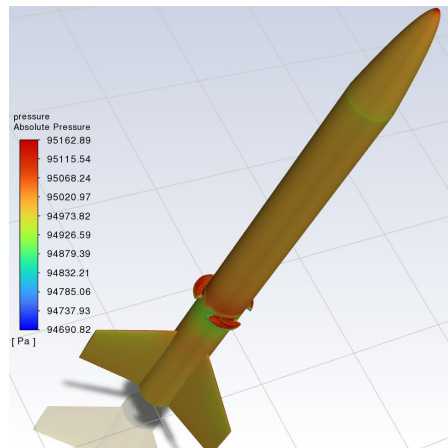


Figure 14: Pression exercée sur les parois de la fusée à Mach 0.05

4 Déroulement du vol

La fusée a décollé le 20 juillet 2023 aux environ de 16h, avec un plancher nuageux bas. La fusée a emprunté la trajectoire parabolique attendue, cependant la poussée moteur semble avoir été très inférieure aux données constructeurs. Les parachutes ont bien été déployés, cependant le parachute de l'étage du bas s'est arraché. Cela a conduit à un vol nominal pour l'étage du haut et à un vol balistique pour celui du bas.

5 Analyse du vol

Aucune donnée n'a pu être récupérée du fait que l'étage contenant l'avionique est retombé en zone rouge. Cependant nous avons pu constater que notre tout nouveau système de séparation a parfaitement fonctionné !

6 Conclusion

Après notre participation à l'EuRoC en 2022, ce projet à permis à l'association de tester un nouveau système d'Aérofrein beaucoup plus optimal en vue de préparer notre prochaine participation à la compétition. Nous avons également exploré pour la première fois dans l'association un système de séparation avec 2 parties bien distinctes et 2 parachutes pour la descente. Malgré la perte de la partie basse de la fusée, nous avons désormais toutes les bases pour améliorer le lanceur et le reconstruire sans délai. Le système de séparation constitue également la première étape pour la conception d'une fusée bi-étage. Enfin, nous avons pu tester la conception d'un bloc aileron monobloc sans défaut et nous avons pu optimiser pour la première fois le Cx du lanceur, afin de ne laisser dépasser aucune tête de vis du lanceur. Cette fusée expérimentale va donc laisser à l'association de bonnes bases pour une hypothétique future participation à l'EuRoC.

7 Remerciements

Dans un premier temps, l'équipe de XENON aimerait spécialement remercier Planète Sciences, le CNES ainsi que tous les bénévoles pour l'organisation de cette édition 2023 du C'Space.

Un grand merci aux sponsors de LéoFly pour leur soutien.

Mentions spéciales aux différentes associations étudiantes présentes lors de cette édition.

Sans oublier plein de bisous à tous les membres de l'ancien bureau (22-23) qui nous ont aidé sur le projet < 3



Figure 15: L'équipe à la récupération de la partie de XENON qui a fait nominal

Merci le CNES et PlaneteScience



Figure 16: L'équipe XENON avec Arnaud Prost