



Project

Evann Kurzawa

Aldric Parent

Notre équipe

Avant tout, permettez-nous de nous présenter. Nous sommes deux amis passionnés par l'aérospatial. Nous nous sommes rencontrés cette année en première année à l'école des Mines de Saint-Etienne, dans le cursus Ingénieur Civil des Mines.

Nous sommes tous deux motivés par notre passion pour l'aérospatial, ainsi que par notre désir de repousser nos limites et de relever des défis ambitieux. Nous sommes convaincus que notre collaboration sera source de créativité, d'innovation et de réussite. Conscients de l'importance de travailler en équipe et de collaborer pour assurer un travail efficace, nous serons déterminés à travailler ensemble pour mener à bien ce projet, en tirant parti de nos compétences et de nos connaissances complémentaires.

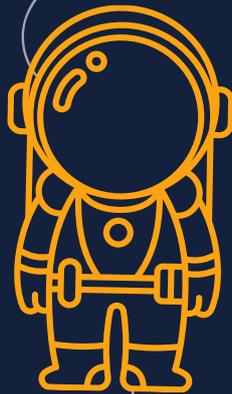


Notre équipe



Evann KURZAWA

Je m'appelle Evann Kurzawa, et le mot qui me définirait est la curiosité. Désireux de découvrir la musique, j'ai débuté la batterie à l'âge de 8ans, et j'ai appris la patience et le respect durant ma longue expérience des arts martiaux pendant dix ans. Toutefois, ma plus grande passion est l'espace, ce monde si grand et mystérieux que nous habitons, qui nous habite, mais que nous ne pouvons comprendre. Dans le futur, je souhaite diriger des grandes missions spatiales en tant qu'officier de guidage ou contrôleur de vol. Dans nos projets de conception de fusée, je suis en charge de la conception mécanique.



Je me présente, je suis Aldric Parent. Actuellement en première année d'école d'ingénieur, j'aspire à devenir ingénieur chef de projet dans le domaine de l'aérospatial. J'adore le sport et je suis un grand adepte de la course à pied, que je pratique en compétition. Je suis aussi très intéressé par la musique et je joue du piano depuis l'âge de cinq ans. Aujourd'hui, je suis très investi dans la junior entreprise de l'école des Mines de Saint-Etienne ainsi que dans l'association Mines Space, qui me permet de réaliser cette fusée. Concernant la réalisation de cette fusée je m'occupe de la partie électronique de la fusée



Aldric PARENT

Sommaire

C'SPACE PROJECT

○ 1 - ORGANISATION

○ 2 - CONCEPTION

○ 3 - SIMULATION

○ 4 - VOL DE LA FUSÉE

○ 5 - RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

○ 6 - CONCLUSION



C'SPACE PROJECT



1.1 - Contexte et Acteurs



Centre National d'Etudes Spatiales

Le CNES est un établissement public à caractère industriel et commercial proposant et mettant en œuvre la politique spatiale française. Il prend part à l'organisation du C'Space afin de fournir les propulseurs et garantir la sécurité des vols.

Planète Sciences

Planète Sciences est une association qui offre aux jeunes l'opportunité d'aborder les sciences et les technologies à travers différentes thématiques, notamment celle de l'espace. Planète Science est partenaire de l'événement et accompagne les équipes dans l'élaboration de leurs fusées



Le concours propose trois grandes catégories de fusées amateurs :

- Micro-fusées
- Mini-fusées
- Fusées expérimentales

Généralement, les élèves de deuxième année du club Mines Space (association étudiante de l'école) réalisent une fusée expérimentale. Étant motivés nous nous sommes lancés dans la réalisation d'une fusée dès la première année. Notre choix s'est porté sur la mini-fusée car cette dernière nous garantit un bon compromis entre risque et développement de compétences.

1.2 - Objectifs

Passionnés d'aérospatial, nous voyons ce projet comme une opportunité pour mettre en pratique notre passion et enrichir nos connaissances dans le domaine. Les compétences que nous allons acquérir seront assurément un avantage pour notre futur professionnel, que nous souhaitons tous deux dans l'industrie spatiale. Notre objectif est donc de découvrir, comprendre et manipuler les outils et les concepts propres au vol d'une fusée. D'autre part, ce vol sera l'occasion de mettre en oeuvre une expérience scientifique permettant de donner un sens et un objectif concret à ce lancement de fusée.



Ce projet sera aussi pour nous l'occasion de rencontrer et d'échanger avec des étudiants/ingénieurs/chercheurs ayant la même passion que nous. Nous aimerions profiter de l'expérience et de la connaissance de ces acteurs du domaine spatial pour nous aider dans la construction de notre projet professionnel.

Enfin, notre objectif principal est de nous épanouir et de prendre du plaisir à travailler sur ce projet. Il nous tient beaucoup à cœur et est une source de motivation.

1.3 - Calendrier



1.3 - Calendrier



2.1 - Notre expérience

OBJECTIF :

Notre fusée EpsiLon embarque à son bord une expérience scientifique. Son but est d'établir le profil de l'évolution de la température de l'atmosphère (à basse altitude) en fonction de l'altitude. Pour ce faire, notre mini-fusée sera pourvue de plusieurs capteurs de températures. On pourra ainsi dresser une carte thermique du premier kilomètre de la troposphère

CONTRAINTES :

Les deux problèmes principaux pour réaliser cela, outre la construction de la fusée, sont la nécessité d'une apogée suffisamment élevée, et la mesure de la température de l'air en limitant au maximum les influences extérieures, notamment les frottements de l'air qui augmenteront possiblement la valeur de la mesure. Nous avons demandé une dérogation au cahier des charges afin d'éliminer le critère de portée balistique limitée à 200m ; cette contrainte empêchait tout vol de dépasser une apogée de 400m. Cela nous permet d'atteindre 600 à 800m d'altitude, pour nous rapprocher le plus possible d'un vol à 1km d'apogée.

RÉSULTATS ATTENDUS :

Au sein de la troposphère, l'évolution de la température en fonction de l'altitude est affine et décroissante. La théorie nous donne une diminution de $0,65^{\circ}\text{C}$ tous les 100m d'ascension. En visant une apogée à 700m, on espère pouvoir mettre en évidence une diminution de la température de $4,55^{\circ}\text{C}$ (écart entre la température au sol et la température à l'apogée). Néanmoins nous avons conscience qu'à faible altitude (comme ça sera le cas pour notre lancement), de nombreux facteurs peuvent altérer l'évolution de la température (présence de plan d'eau, de reliefs...)

2.1 - Notre expérience

CAPTEURS :

Notre fusée sera équipée de trois capteurs de température dont voici les principales caractéristiques et positionnements

Fiche Technique :

MC9808 (x1)

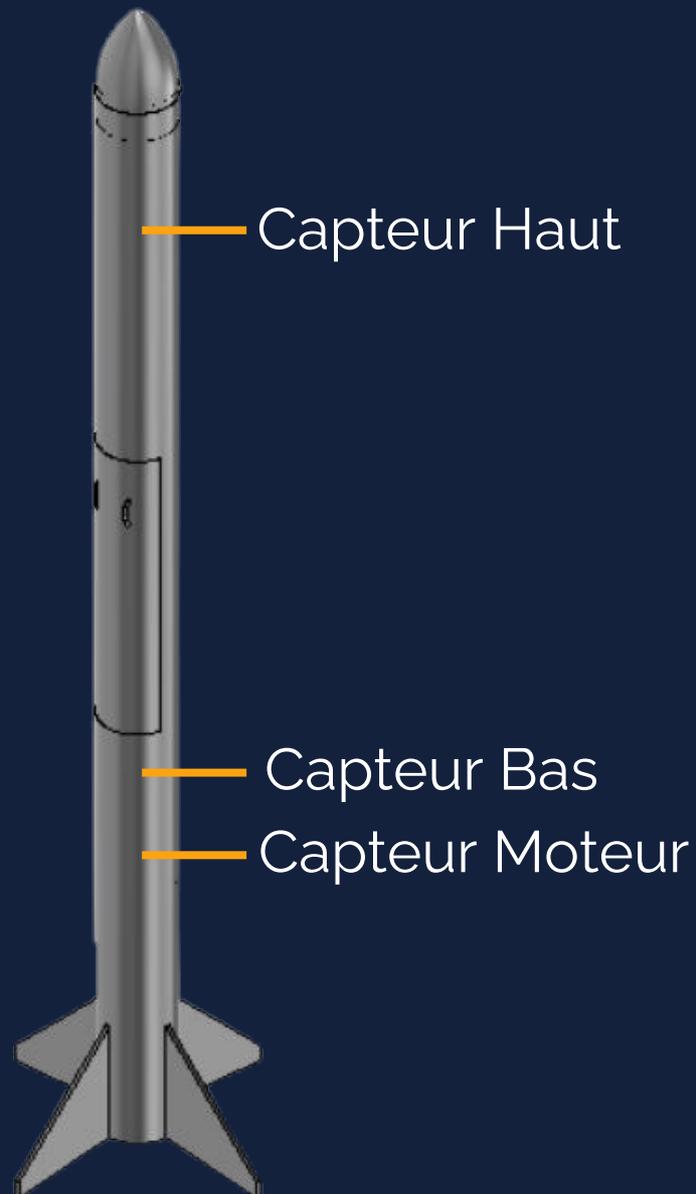
- Précision : 0.25°C
- Résolution : 0.0625°C
- Fréquence de mesure : 4 hz
- Nom : "Capteur Haut"

DS18B20 (x2)

- Précision : 0.5°C
- Résolution : 0.0625°C
- Fréquence de mesure : 1,3 hz
- Nom : "Capteur Bas"
"Capteur Moteur"

Le capteur Haut est situé sur le PCB mobile, le capteur bas est situé sur le PCB fixe et le capteur Moteur est situé juste derrière l'anneau de retenue moteur

Positionnement :



2.2 - Architecture et dimensionnement

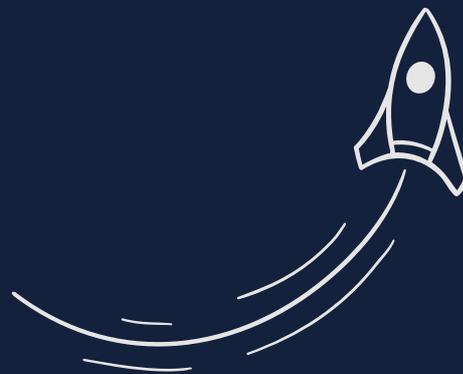
- **Différentes parties :**
 - **Cône :** la tête de la fusée est un cône ogival tangente (paramètre de forme valant 1), qui a une transition en douceur vers le tube de la fusée. Il est complété par un épaulement qui sert à relier le cône au tube, il s'agit d'un retrait du cône vers l'intérieur du tube, qu'il suffit de visser par l'extérieur. Les dimensions du cône sont précisées dans les dessins techniques plus loin.
 - **Tube de corps :** Ses dimensions sont précisées dans les dessins techniques. Il contient deux anneaux de centrage qui servent à maintenir le propulseur, et une rétention moteur qui stoppe la poussée du propulseur, pour l'empêcher de se déplacer dans le tube de corps.
 - **Parachute :** Il s'agit du modèle CFC-18-N-ST, d'une surface déployée de $0,16\text{m}^2$. Son coefficient de traînée est $C_x = 1,5$. Il sera éjecté par une trappe au niveau du centre de masse, qui s'ouvrira à l'apogée, par un mécanisme spécifié plus loin.
 - **Ailerons :** Ses dimensions sont précisées dans les dessins techniques. Ils sont au nombre de quatre, condition nécessaire à l'utilisation d'une rampe cage. Les ailerons sont liés au tube de corps par la technique TTW (Through The Wall), car le propulseur utilisé est de classe supérieure à E, et la poussée peut les arracher. Le montage TTW consiste à faire dépasser les ailerons à travers une fente, et à les relier aux anneaux de centrage.
- **Propulseur :** Pandora (Pro 24 6G BS)

2.2 - Architecture et dimensionnement

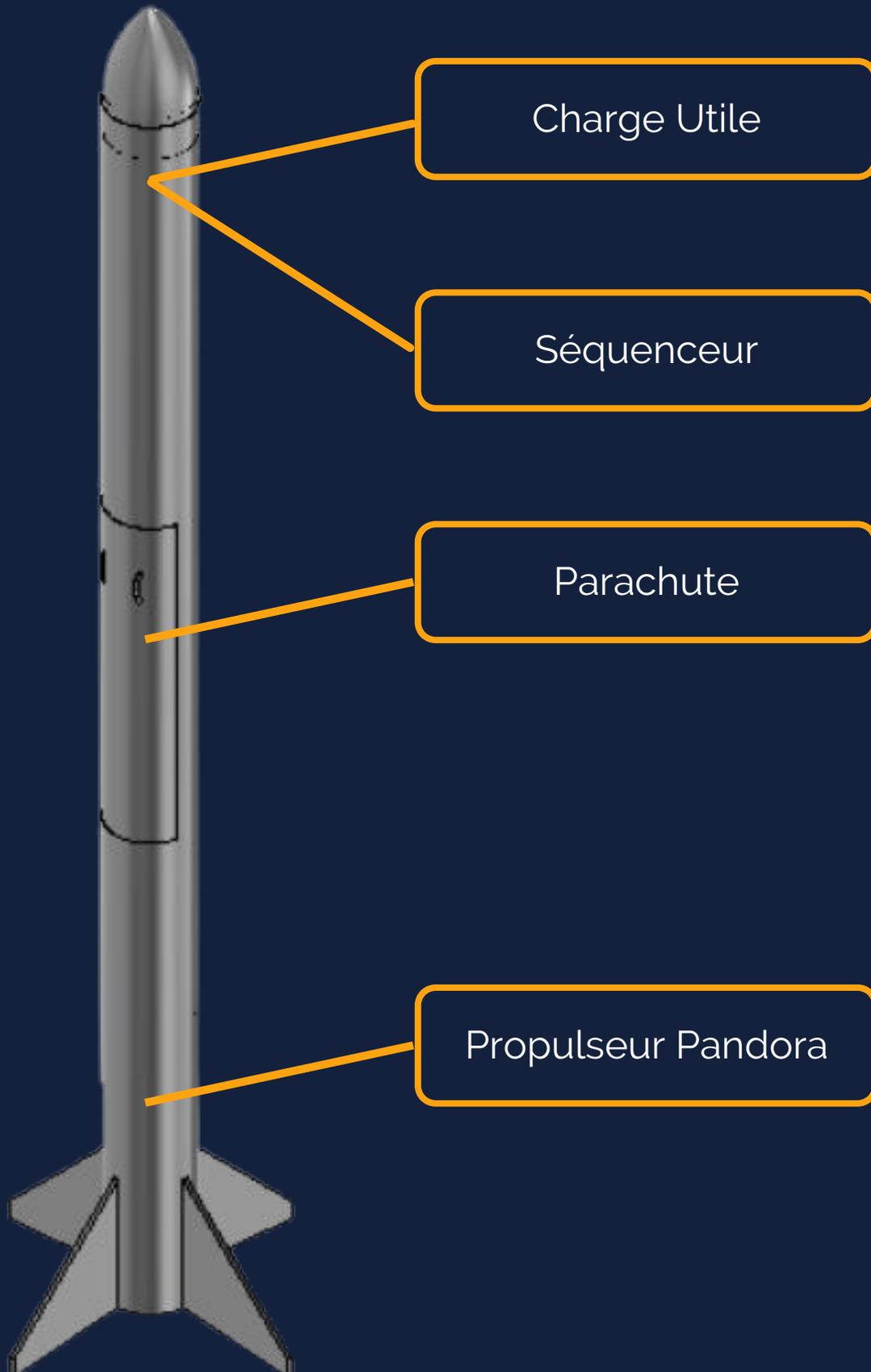
- **Lien entre l'ensemble des éléments :** Nous choisissons une fusée avec lien type peau porteuse : les éléments sont vissés et/ou collés au tube de corps directement.
- **Disposition pratique :** La charge utile est placée à l'avant pour pouvoir l'enlever et la manipuler plus facilement. Le parachute est placé au niveau du centre de masse pour que, lors de la retombée, la fusée n'ait pas un angle trop important avec l'horizontale. Cela évitera entre autres que les suspentes se coupent.

De plus, le propulseur est retenue par une bague à l'arrière qui maintient le col de tuyère. Elle peut facilement s'enlever par un pyrotechnicien au moment d'installer le propulseur, il suffit de la dévisser puis de la tourner.

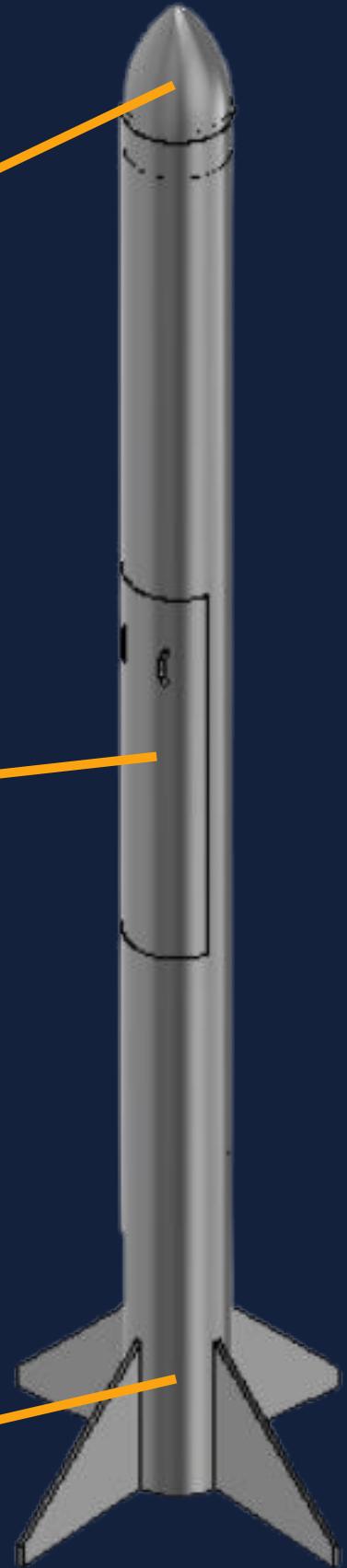
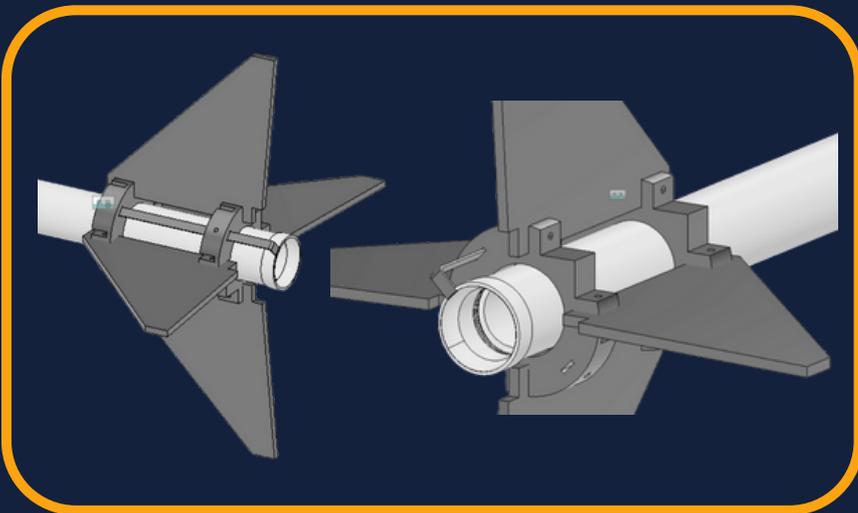
- **Données dimensionnelles :**
 - Masse : 697g
 - Longueur : 0,8m
 - Diamètre : 50mm



2.2 - Architecture et dimensionnement

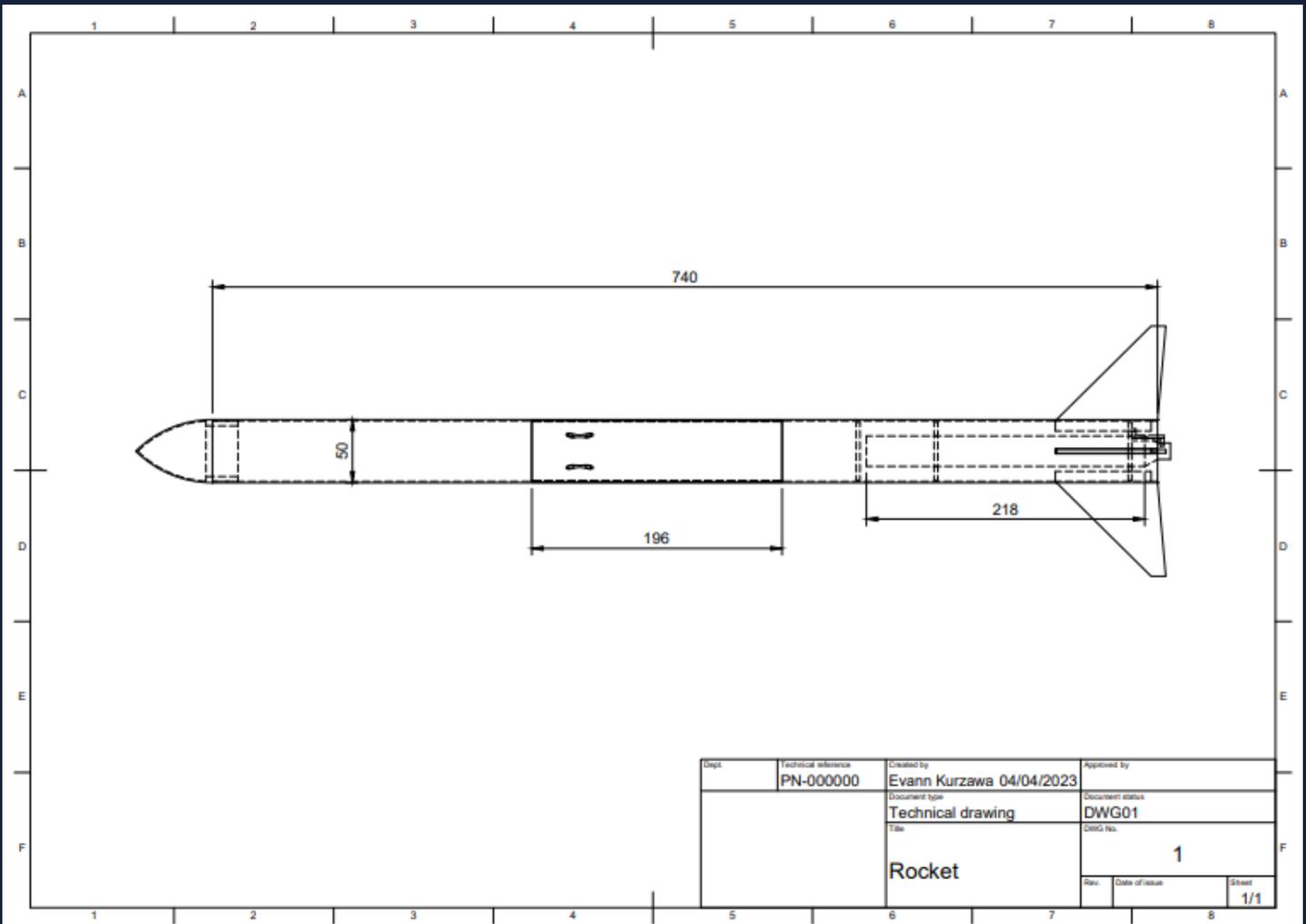
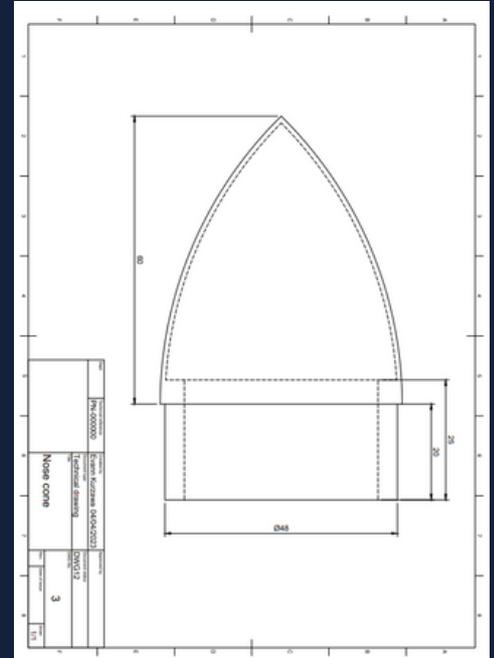
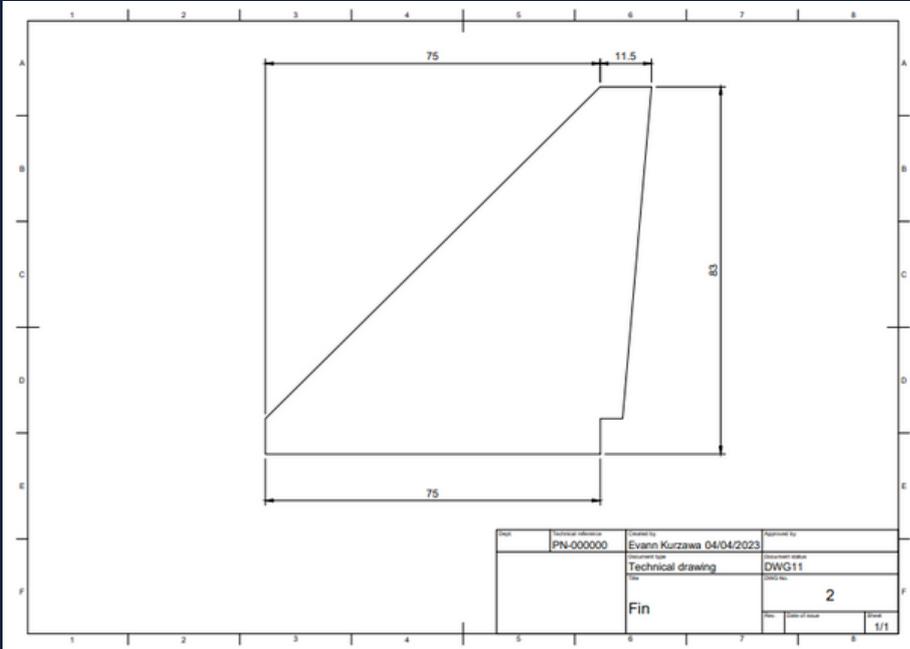


2.2 - Architecture et dimensionnement



2.2 - Architecture et dimensionnement

Dessins techniques



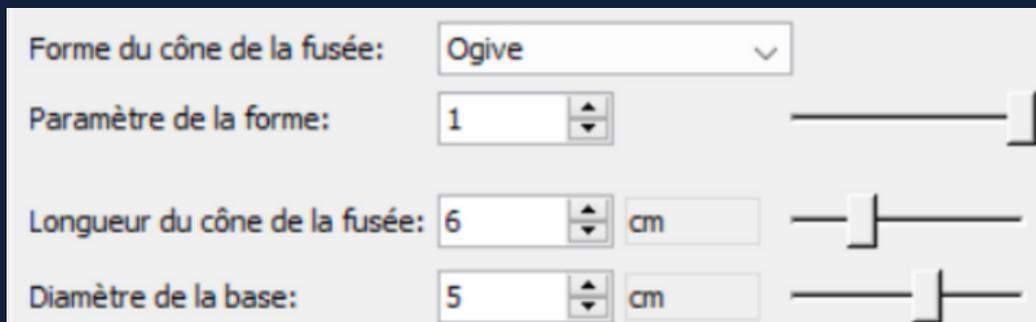
2.2 - Optimisation pour une apogée maximale

Pour notre projet expérimental, une grande contrainte était d'avoir une fusée la plus légère possible. Rappelons que les mini-fusées atteignent une altitude de 200-300m en moyenne avec les propulseurs Pandora qui nous sont fournis, et que nous souhaitons réaliser une carte du premier kilomètre AGL de la troposphère.

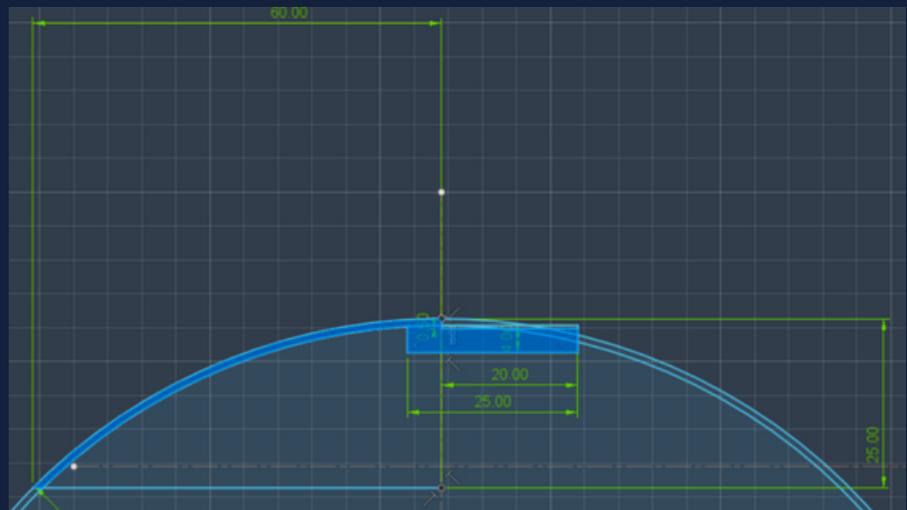
Nous devons donc l'optimiser pour aller le plus haut possible.

Optimisation géométrique

La première étape était une optimisation géométrique ; minimiser les épaisseurs, choisir une forme d'ogive réduisant au maximum la traînée, choisir des ailerons maximisant la portance, au prix d'une stabilité réduite. Nous nous sommes servis de l'outil d'optimisation du logiciel OpenRocket, qui nous a permis entre autres de retenir les meilleurs paramètres pour l'ogive ;



Le paramètre de forme valant 1, nous traitons ici une « pointe à ogive tangente ». Nous avons alors utilisé les données ci-dessus et les équations de l'aérodynamique de la pointe avant pour la modéliser dans Fusion 360 avec précision :



2.2 - Optimisation pour une apogée maximale

Pour la modélisation sur Fusion, on se base en réalité sur un cercle dont le rayon nous est donné par l'équation :

$$\rho = (R^2 + L^2)/2R$$

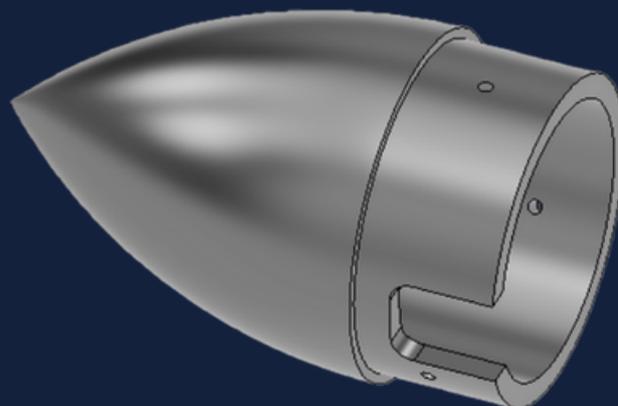
Où R vaut ici $25.00mm$ et L vaut ici $60.00mm$

Puis on effectue une révolution de l'esquisse pour obtenir l'ogive. Le choix des autres paramètres géométriques s'est généralement effectué d'une manière similaire.

Optimisation des matériaux

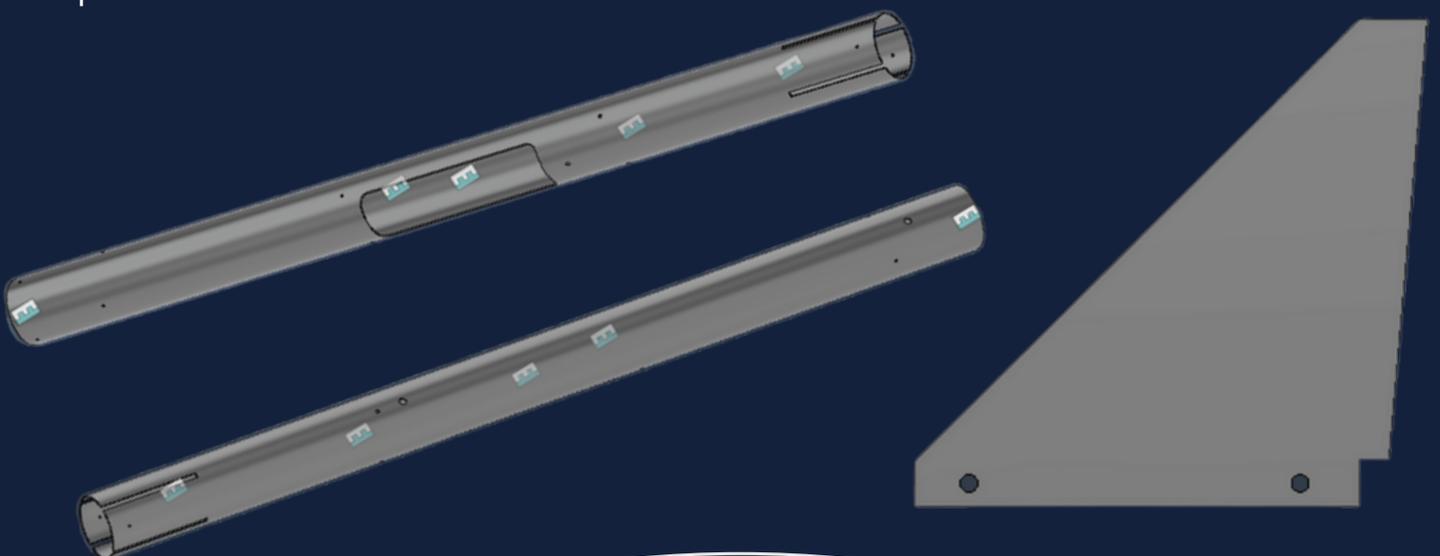
La deuxième étape pour obtenir une masse minimale tout en ayant une fusée robuste était le choix des matériaux.

- **Coiffe** : Étant donné la complexité de la forme de la coiffe et la précision que nous nécessitions, nous n'avons pas d'autre choix que de l'imprimer en 3D. Nous avons donc opté pour du PLA, matériau très léger et peu résistant. Toutefois, la faible résistance ne nous a pas inquiété puisque l'ogive ne subit pas d'importantes surpressions en vol subsonique. Pour toutes les pièces internes et géométriquement très complexes, le choix s'est également porté sur le PLA.



2.2 - Optimisation pour une apogée maximale

- **Tube de corps** : Avec un projet initial d'opter pour un tube en PVC d'épaisseur 3-4mm qui était peu cher et simple à usiner, nous avons finalement choisi un tube de corps en fibre de carbone d'épaisseur 1mm. Le matériau a une densité plus élevée que le PVC, mais la réduction importante d'épaisseur nous a fait gagner beaucoup de masse, pour environ une cinquantaine de mètres d'apogée. Et cette impressionnante légèreté s'allie avec une résistance mécanique exceptionnelle, même pour une épaisseur de 1mm. Tout nous poussait vers ce matériau ; la légèreté, la résistance, et même l'esthétique. Cependant ce choix devait forcément comporter des inconvénients, le premier étant le prix. Le second était la présence et le détachement de fibres lors de nos perçages et usinages, qui s'emmêlaient et occupaient l'espace intérieur du tube, rendant difficile la tâche d'assembler les composants internes.
- **Ailerons** : Les ailerons nécessitent également une grande résistance mécanique, notamment aux forces de torsion et de vibration pendant le vol. Cependant, les ailerons doivent aussi être résistants thermiquement, puisqu'ils sont très proches du propulseur. Ces deux éléments, de concert avec une légèreté maximale, nous ont porté vers l'Aluminium, métal léger et résistant. Ils ont été usinés à la CNC par une société externe.



3.2 - Détection des phases de vol

- **Détection du décollage**

La détection du décollage de la fusée se fera par l'intermédiaire d'un accéléro-contact associé à une petite masse pour aider au déclenchement. Lorsque la fusée va commencer à s'élever, le capteur va se déclencher sous l'effet de l'accélération.

- **Détection d'apogée**

La solution retenue pour détecter l'apogée du vol de la fusée (qui permettra le déploiement du parachute au bon moment) est la détection temporelle. Une valeur théorique d'atteinte d'apogée déterminée par les simulations sera implémentée dans la carte de commande qui initialisera la phase de récupération une fois cette valeur théorique atteinte par l'horloge interne du système.

- **Détection du point de chute**

Étant donné que notre fusée décollera depuis la rampe des fusées expérimentales, nous avons de grandes chances de ne pas retrouver la fusée. Pour mettre toutes les chances de notre côté, la fusée sera équipée d'un système de géolocalisation permettant de déterminer le point de chute de cette dernière.

3.3 - Système de récupération

Nous avons opté pour notre première fusée pour le système de récupération le plus répandu : l'éjection mécanique d'un parachute par une trappe latérale. Il fallait donc réserver une « case » interne pour le parachute, et la structurer favorablement à l'échappement du parachute. Il fallait également un système de libération de la trappe, et un système d'éjection de la trappe.

Case parachute

La fusée est assez petite en longueur, donc chaque espace interne doit être minutieusement étudié pour que tout rentre ; la charge utile, les électroniques du séquenceur, le propulseur, et la récupération.

Le faible diamètre du tube de corps nous a rendu la tâche très difficile quant à l'agencement de ces espaces ; de plus la case parachute comportait une électronique proche et un servomoteur qui nous devaient pas être confondus et emmêlés dans les suspentes.

Voici donc une visualisation 3D de l'espace dédié au parachute dans la fusée ;



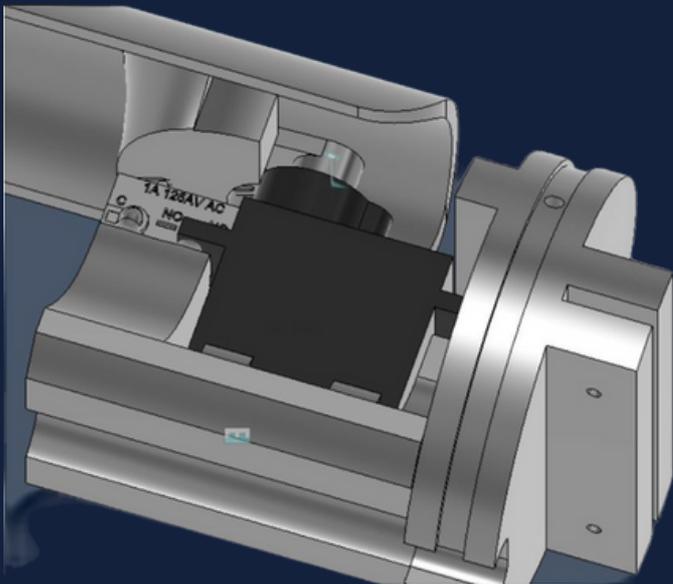
A droite se situe le servomoteur dédié à l'ouverture de la trappe dont nous parlerons plus tard, en haut se situe la trappe, et à gauche se situe une pièce de type « toboggan », facilitant l'éjection du parachute en dehors de la trappe. Sa forme étrange s'explique par le passage de fils électroniques (rigole en dessous de la pièce), par le lien à un PCB fixe à gauche, et par la présence initiale d'un ressort en son centre, exerçant une force de pression sur la trappe.

3.3 - Système de récupération

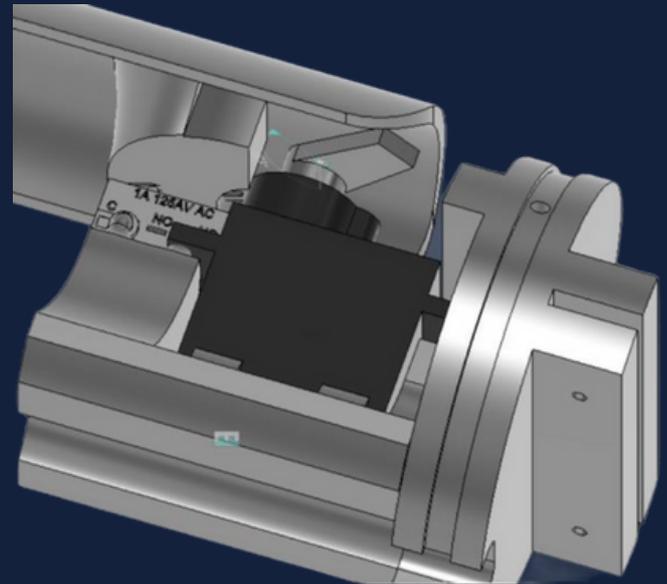
Système de libération de la trappe

Initialement, nous souhaitions mettre en place un système de pignon-crémaillère pour libérer la trappe, via la rotation d'un servomoteur transformée en translation. Cependant, le diamètre de la fusée étant très petit, la mise en place s'est avérée très compliquée, en plus de la fragilité du système et de la mobilité de la crémaillère. Avec d'intenses accélérations, cette-dernière aurait pu se décrocher et tomber à l'intérieur du tube de corps, condamnant ainsi la trappe.

Nous avons alors opté pour la simple rotation d'une patte via le servomoteur. La position initiale coinçait la patte dans l'encoche de la trappe, la position finale, 180° plus loin, la libérait.



*Position initiale,
Trappe bloquée*



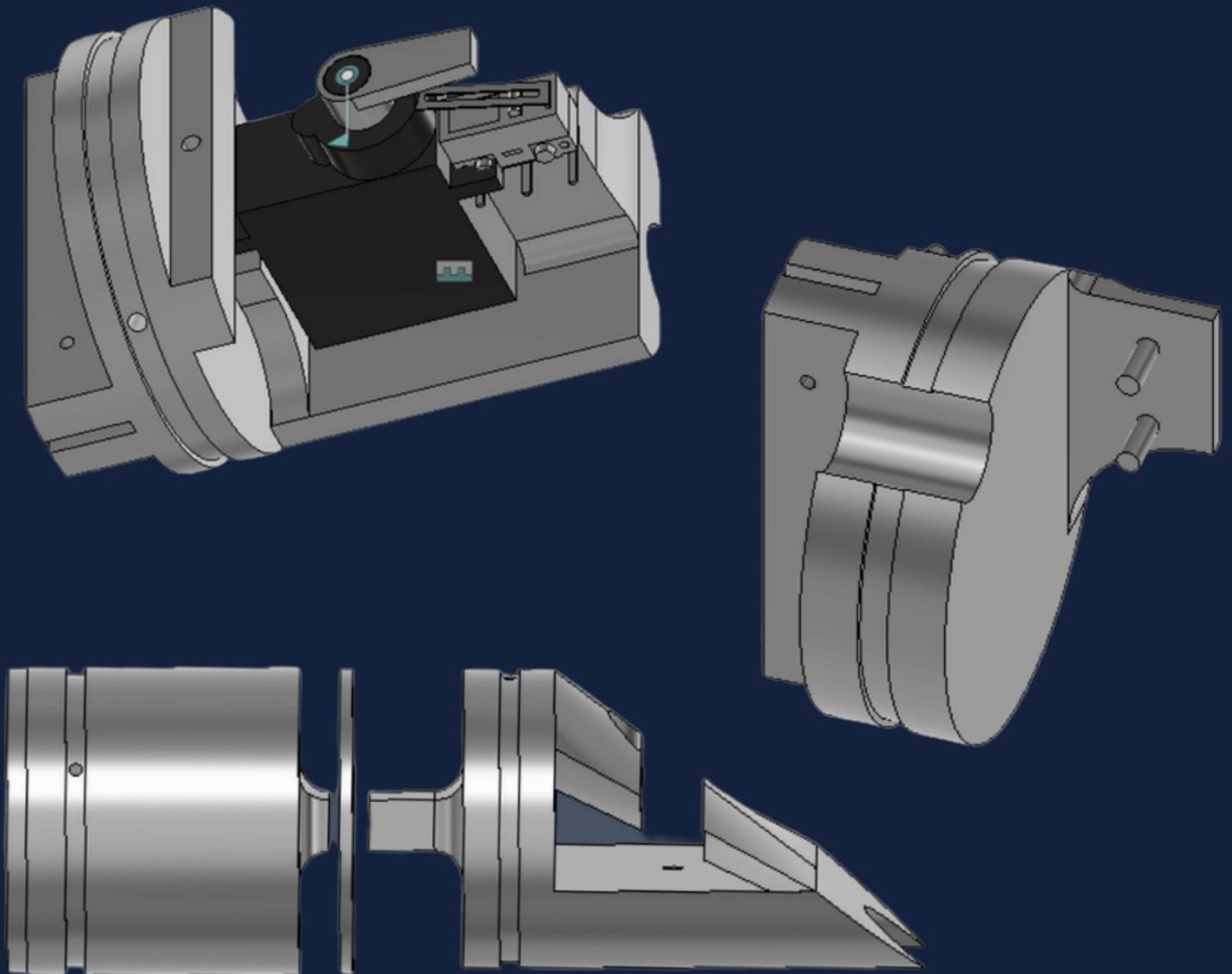
*Position finale,
Trappe libérée*

3.3 - Système de récupération

Systeme d'éjection de la trappe

Le moyen le plus simple de « poussée mécanique » rapide est le ressort. Le ressort évoqué plus haut a finalement été retiré car il était du mauvais côté de la trappe, exerçant un couple indésirable lors de l'éjection. Nous l'avons remplacé par un ressort placé en avant de la trappe, côté servomoteur, pour faciliter l'éjection après la libération.

Voici quelques autres modélisations de nos pièces :



2.3 - Electronique

Notre système électronique sera constitué de deux parties électriquement indépendantes : la partie séquenceur et la partie charge utile.

Séquenceur

- Analyse des paramètres de vol
- Traitement des données
- Déclenchement des actionneurs

Charge utile

APU

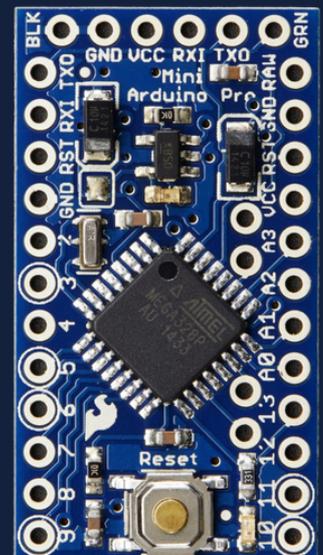
- Acquisition des données capteurs
- Traitement des données
- Stockage des données

LTS

- Localization and telemetry system

Choix du microcontrôleur :

Nous nous sommes tournés vers la carte de commande Arduino Mini-Pro qui sera présente à la fois dans la partie séquenceur et dans la partie charge utile. Cette solution nous assure fiabilité, facilité de programmation et compatibilité avec de nombreux capteurs.



2.3 - Electronique

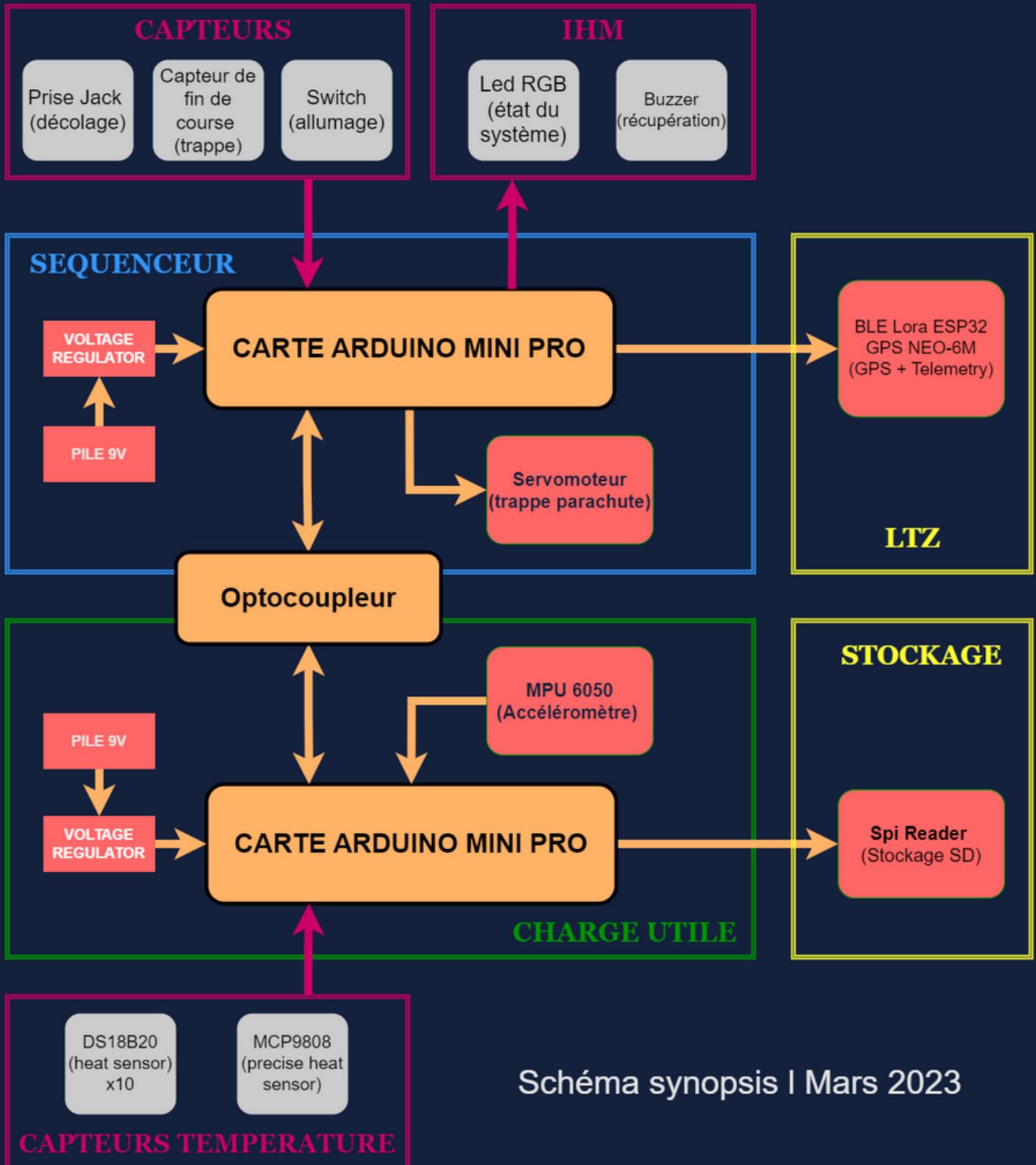


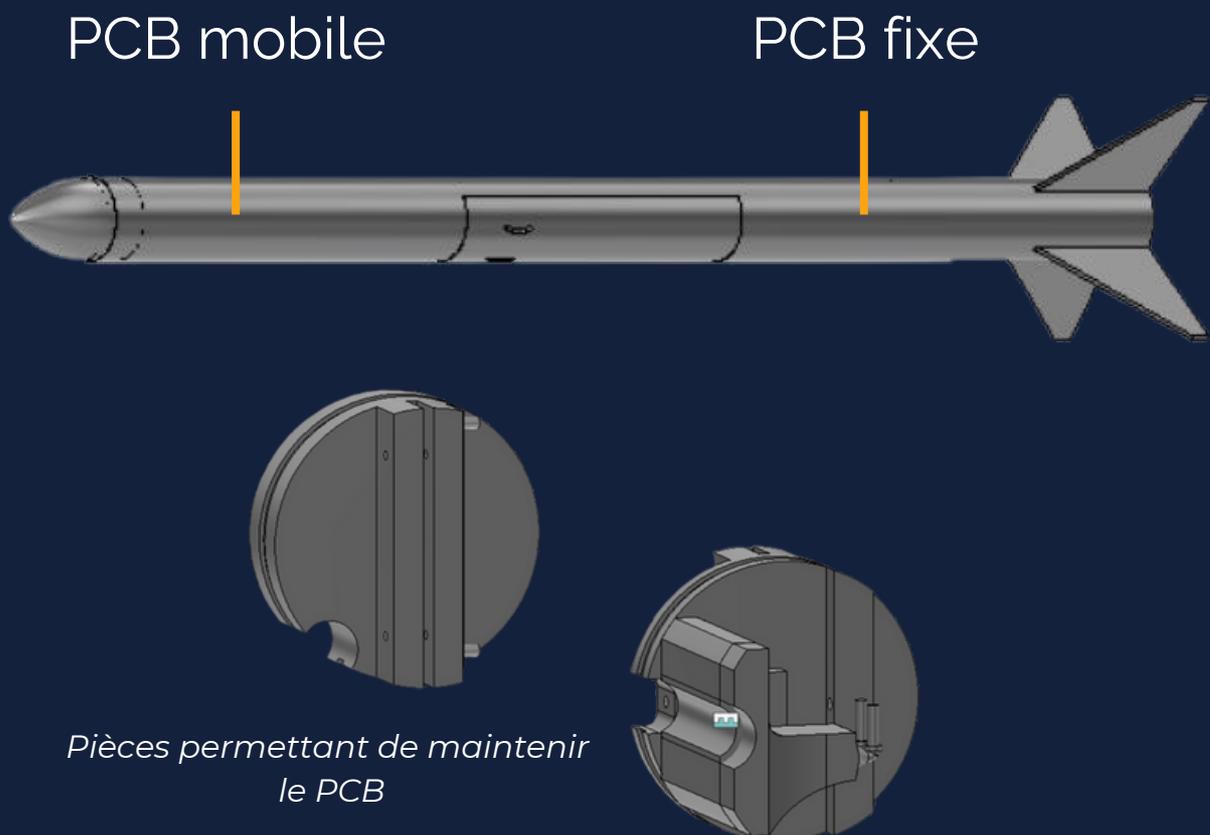
Schéma synopsis | Mars 2023

2.3 - Electronique

Élaboration du PCB

L'ensemble de notre électronique sera réparti sur deux PCB :

- Un PCB fixe situé entre la trappe parachute et l'anneau de rétention moteur qui servira de supports aux capteurs de température et aux capteurs de fin de course (car ces derniers devront rester dans le tube de corps de la fusée).
- Un PCB mobile situé à l'avant de la fusée, juste derrière l'ogive qui pourra facilement être enlevé, facilitant ainsi le travail. Ce PCB contiendra les micro-contrôleurs du séquenceur et de la charge utile, le système d'alimentation électrique, divers capteurs ainsi que le support d'enregistrement des données.



2.3 - Electronique

Modélisation du PCB

Nous avons modélisé le PCB à l'aide du logiciel EasyEDA. Dans un premier temps nous avons modélisé le circuit électrique puis nous avons tracé l'empreinte des composants sur le PCB et effectué le routage

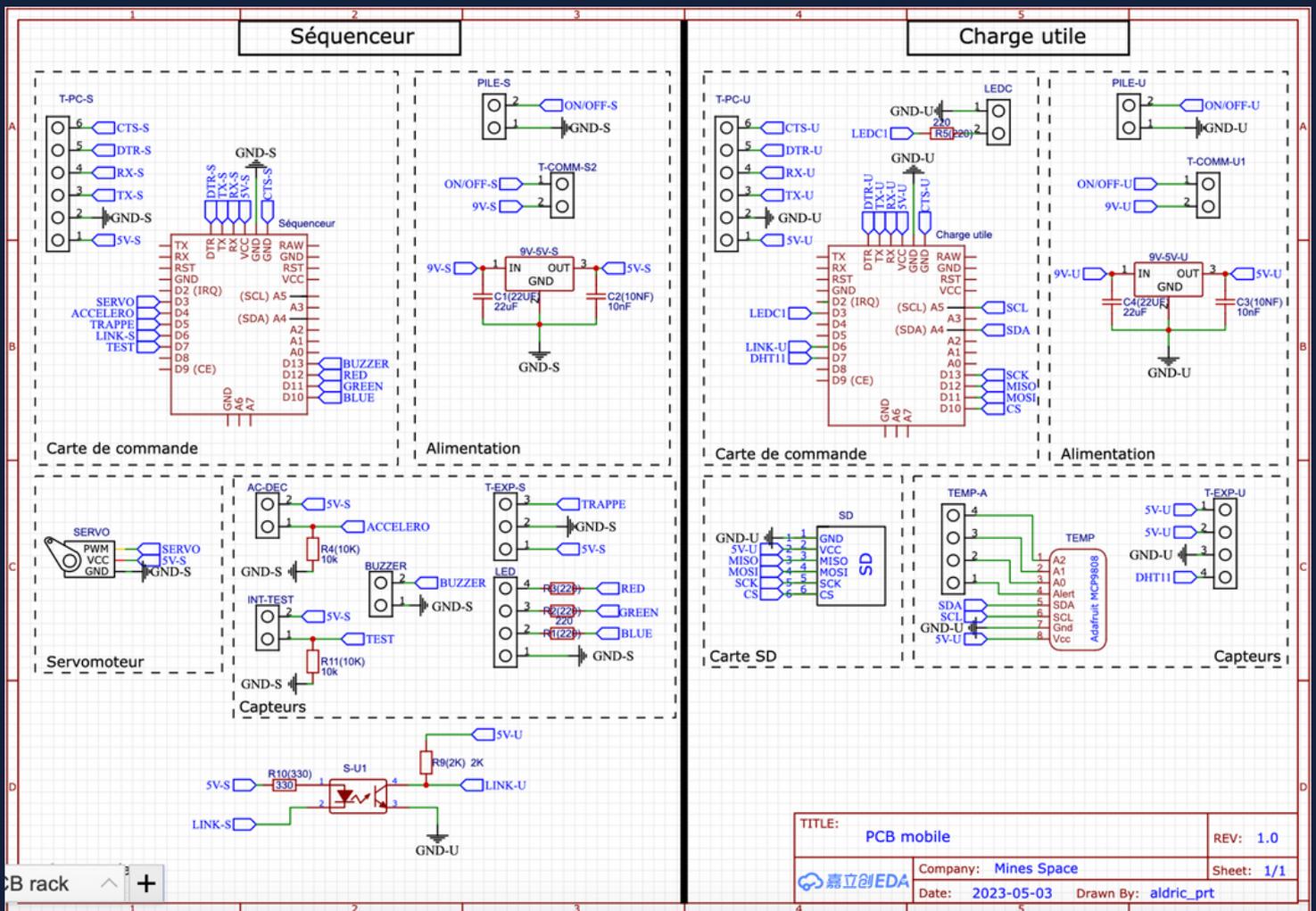
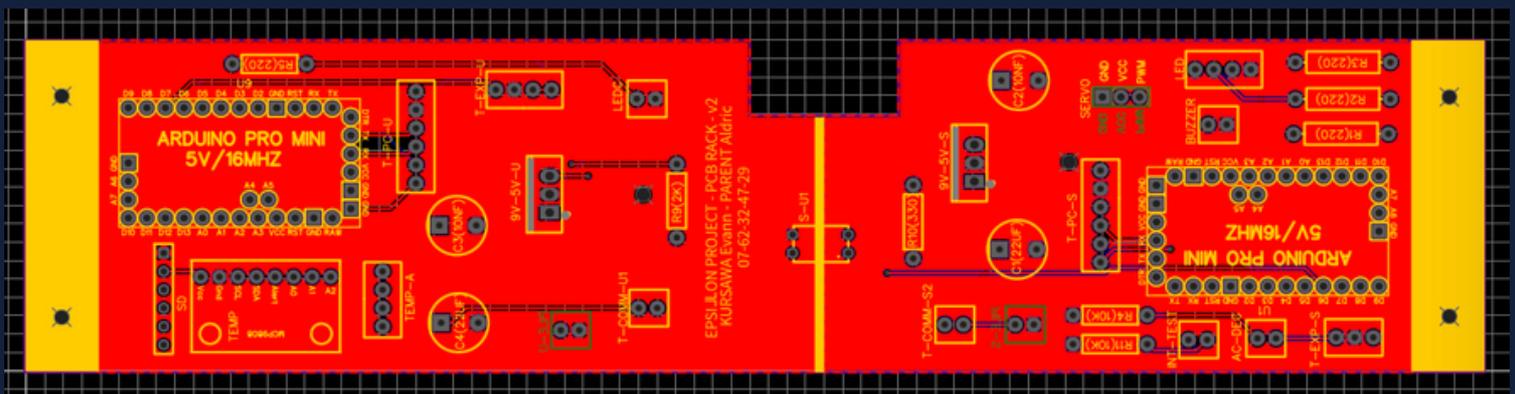


Schéma et empreinte du PCB mobile



2.3 - Electronique

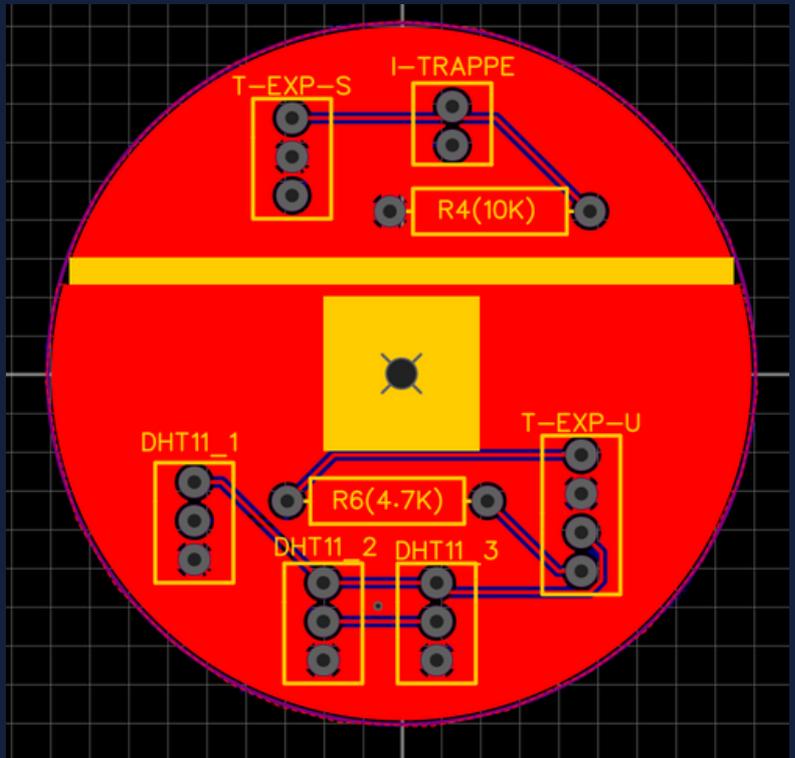
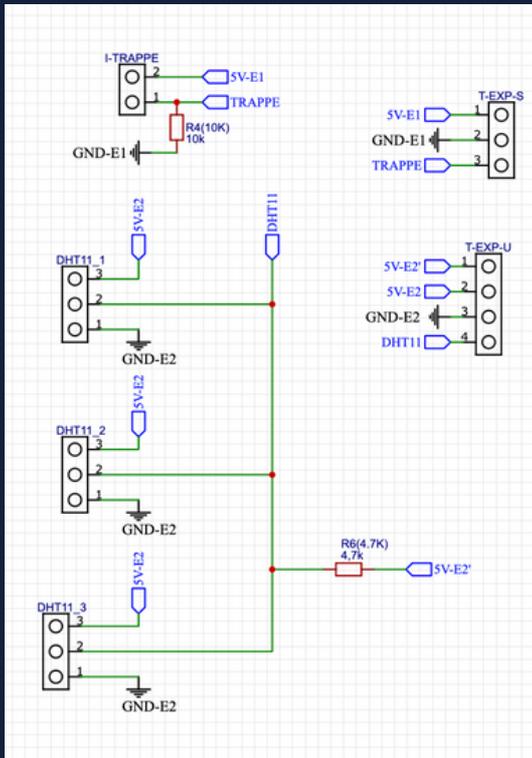
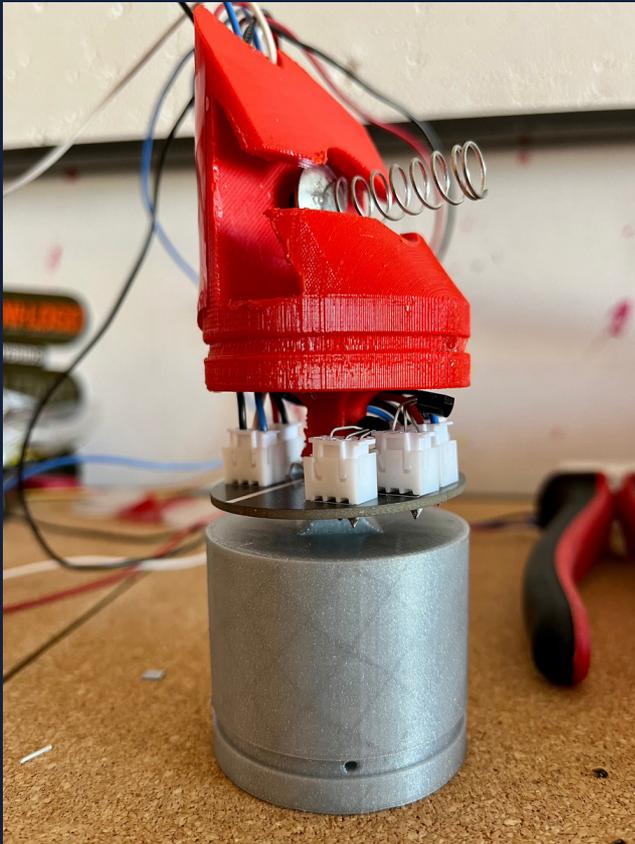
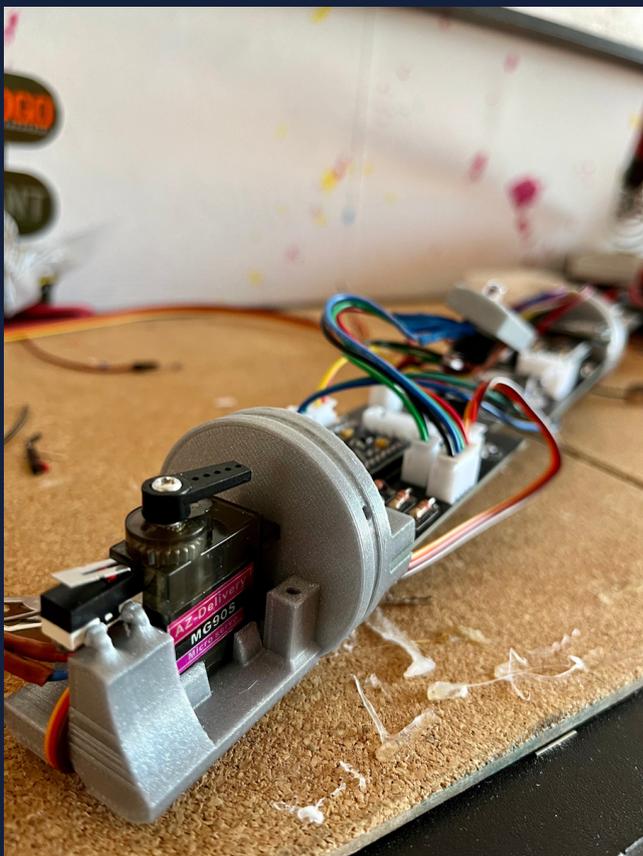


Schéma et empreinte du PCB fixe

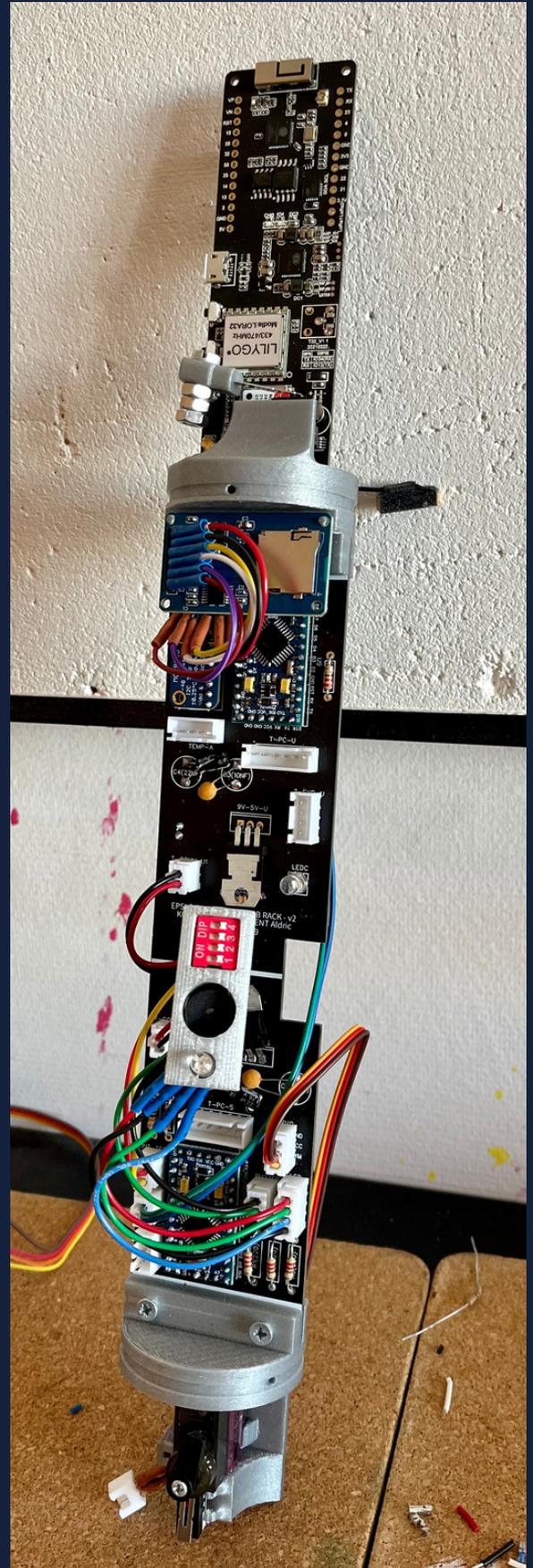
2.3 - Electronique



En haut : PCB Fixe

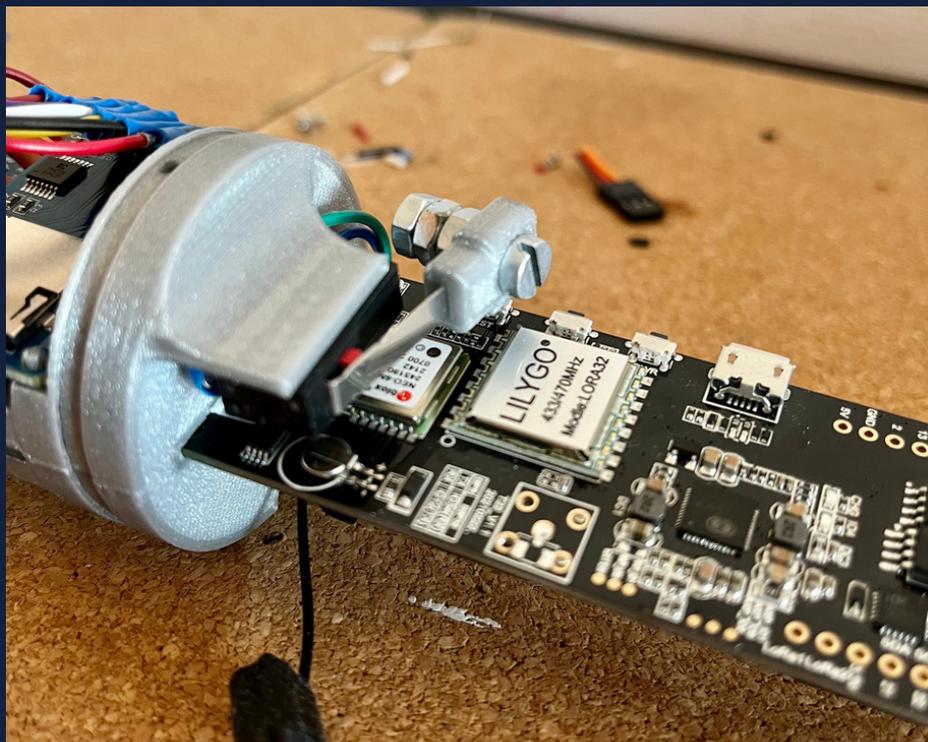
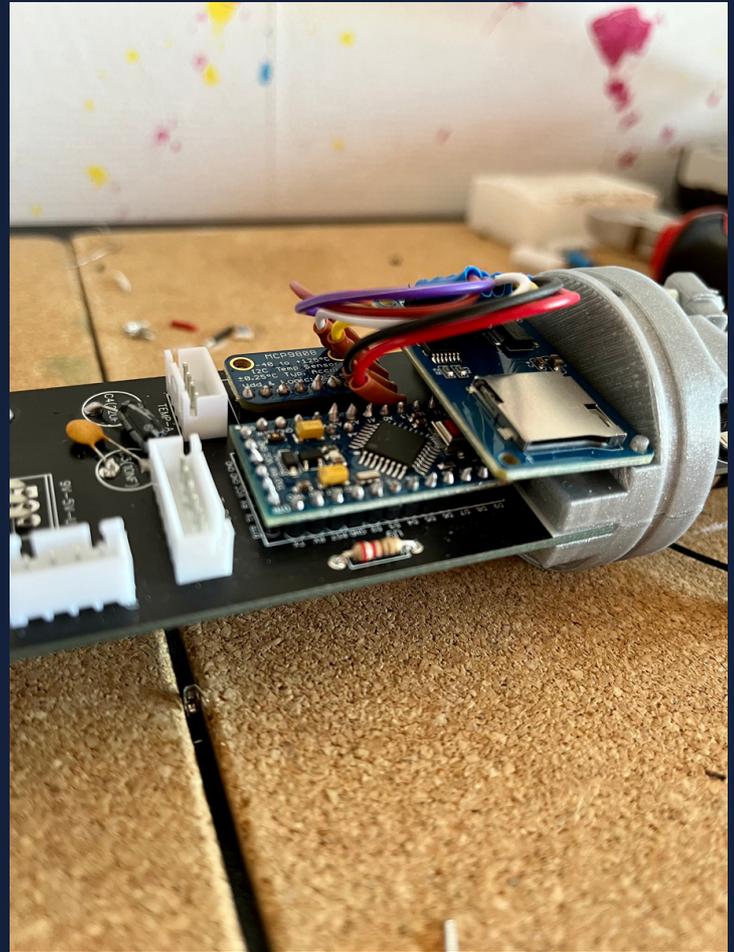
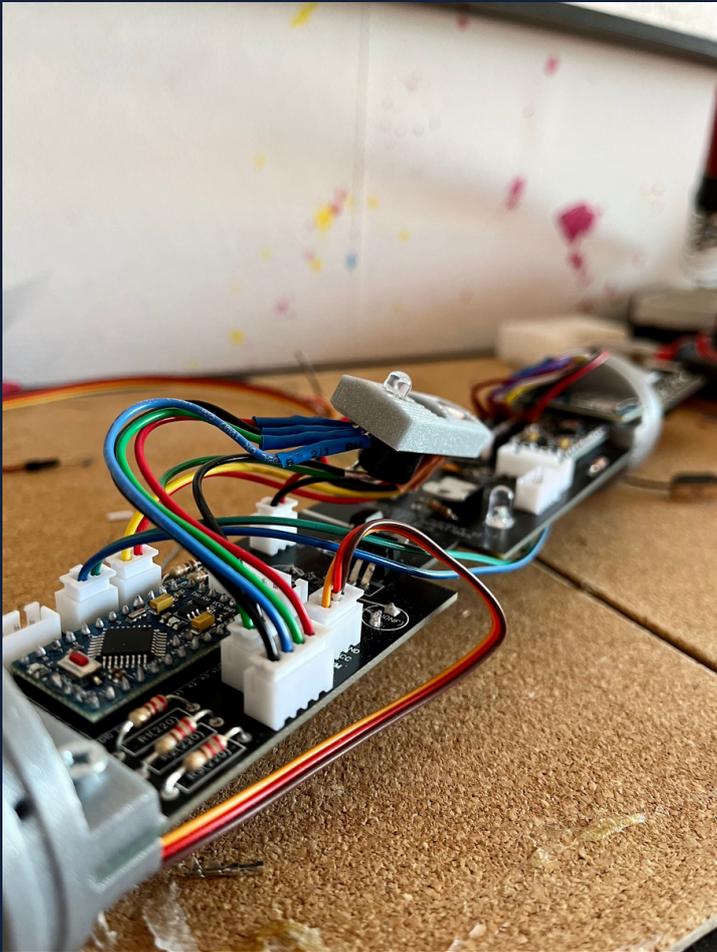


PCB mobile



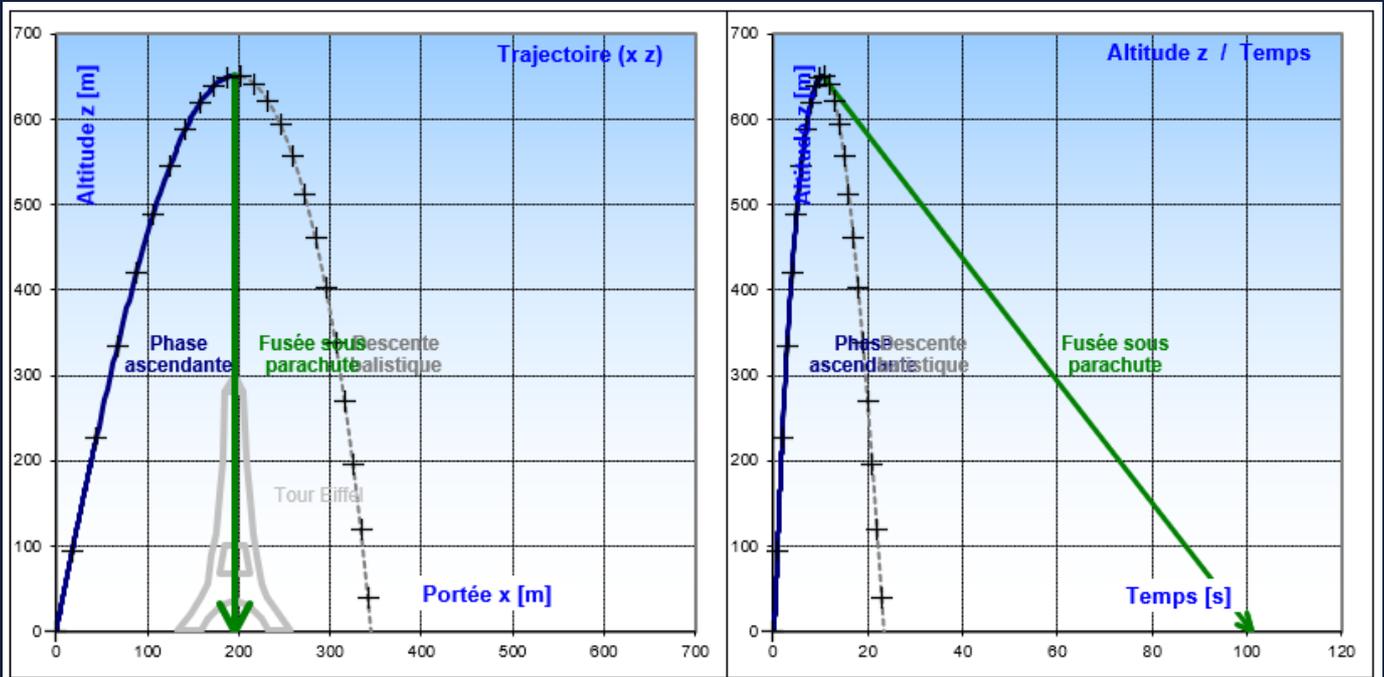
PCB mobile

2.3 - Electronique



3.1 - Simulations

Stabtraj



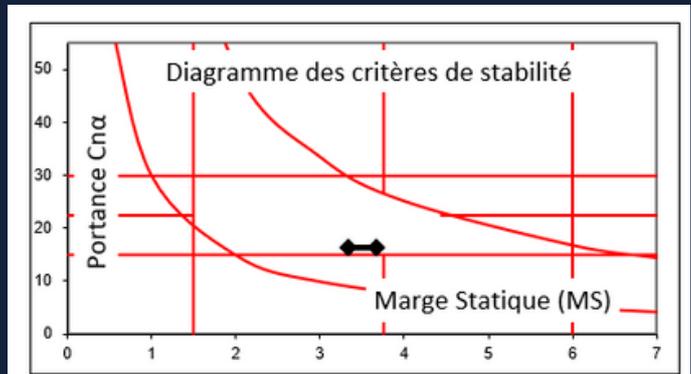
Fusée	
Nom	EpsiJLon
Club	Mines Space
Type	Minifusée
Masse	704 g sans propu
Centre de Masse	498 mm avec propu vide
Longueur totale	806 mm

Propulseur	
Type	Pandora (Pro24-6G BS)
Position du bas	796 mm

Coiffe	
Forme	Ogivale (pointue)
Hauteur	60 mm
Diamètre	50 mm

Ailerons	
Mono-empennage	
Emplanture 'm'	80 mm
Saumon 'n'	11,5 mm
Flèche 'p'	75 mm
Envergure 'E'	75 mm
Epaisseur 'ep'	3 mm
Nombre	4
Position du bas	810 mm

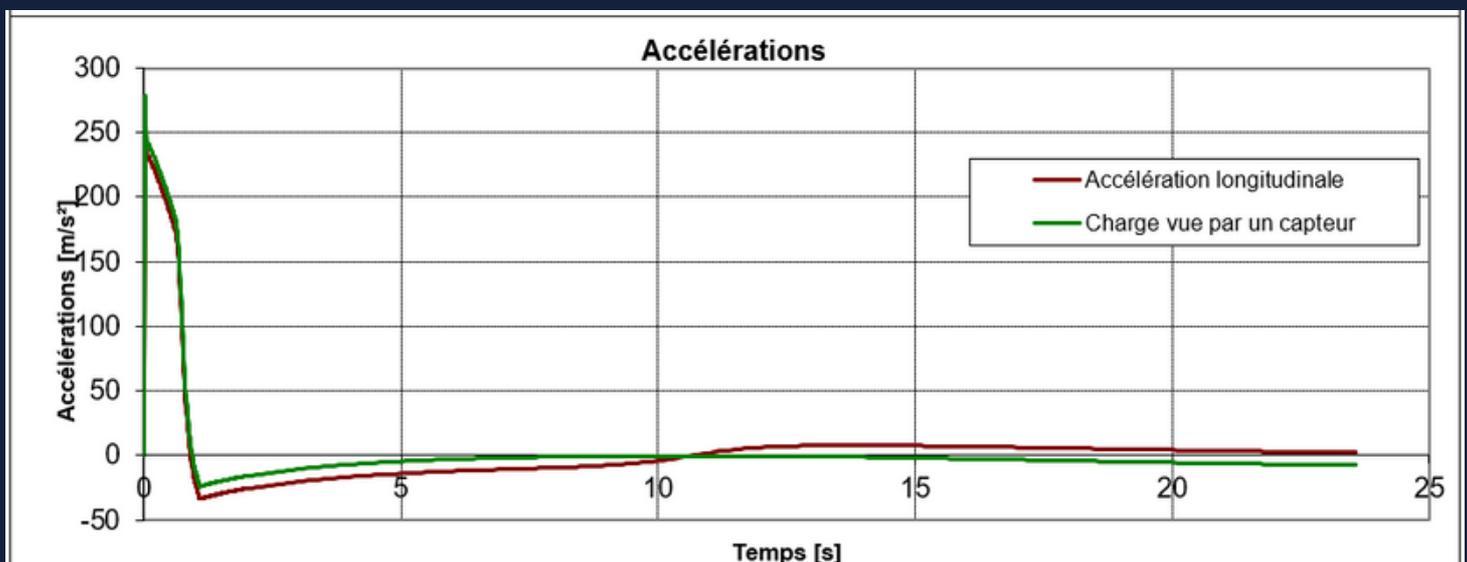
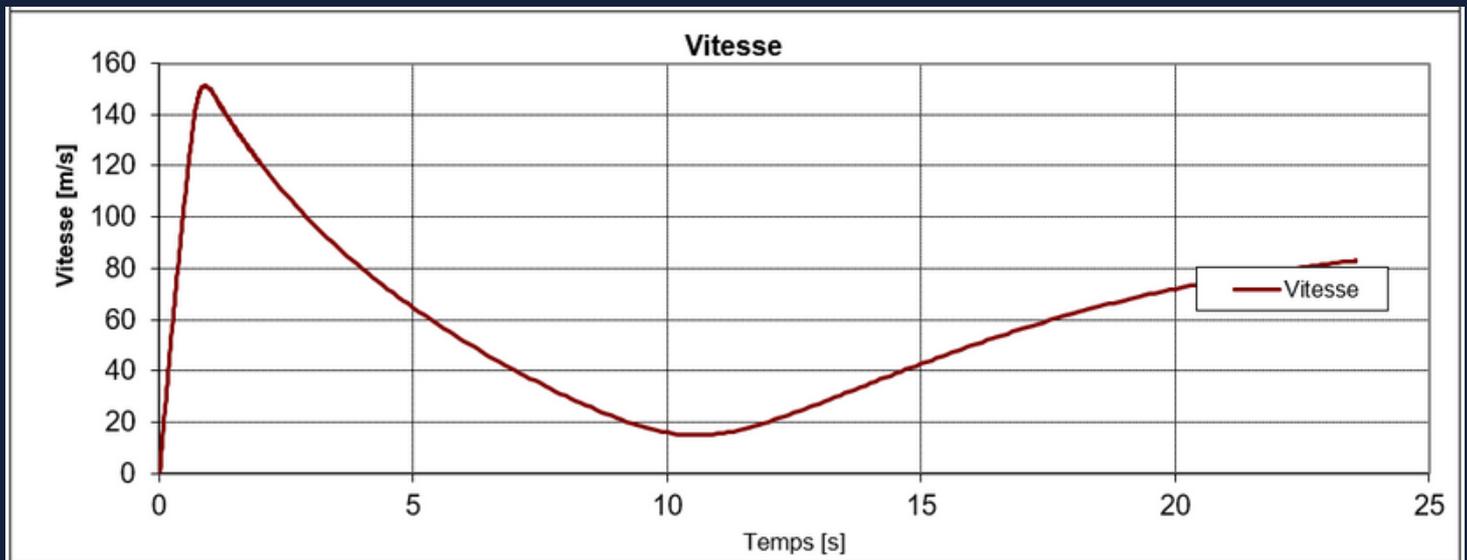
29/08/2023	Min	Résultats	Max	
Finesse	10	16,1	20	
Portance	15	16,4	30	
MargeStat.	1,5 D	3,34 D	3,66 D	6 D
Couple	30	54,9	60,2	100
XCp		681 mm	681 mm	
MS / L		21% L	23% L	
STABLE				



3.1 - Simulations

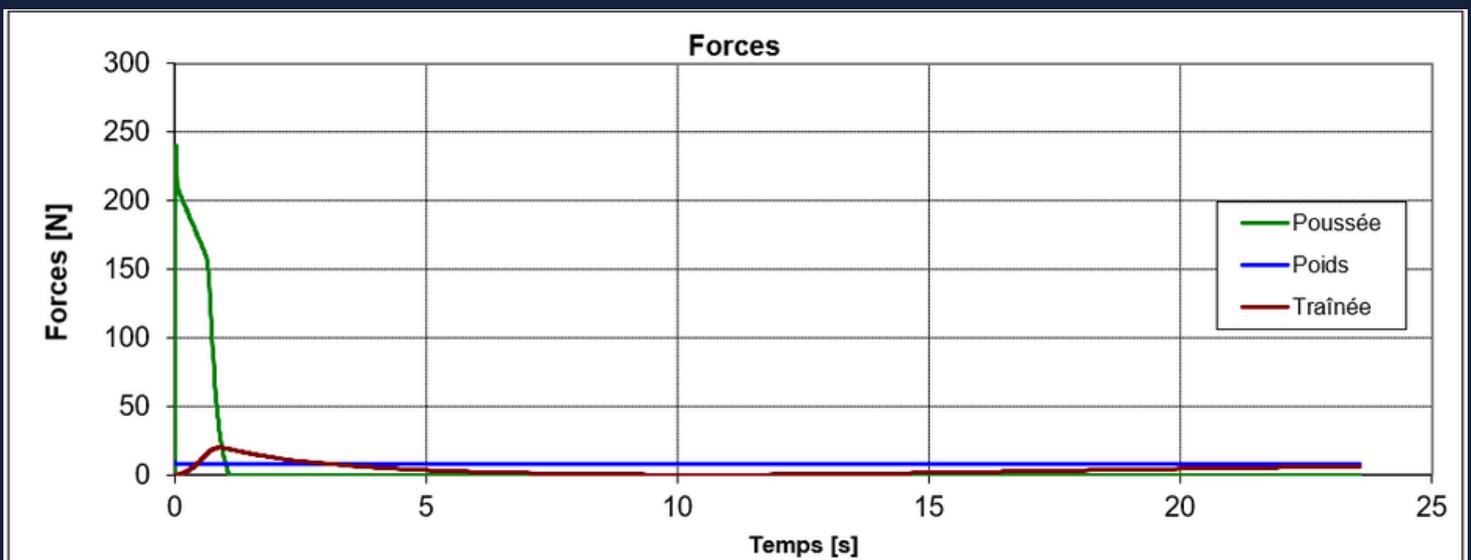
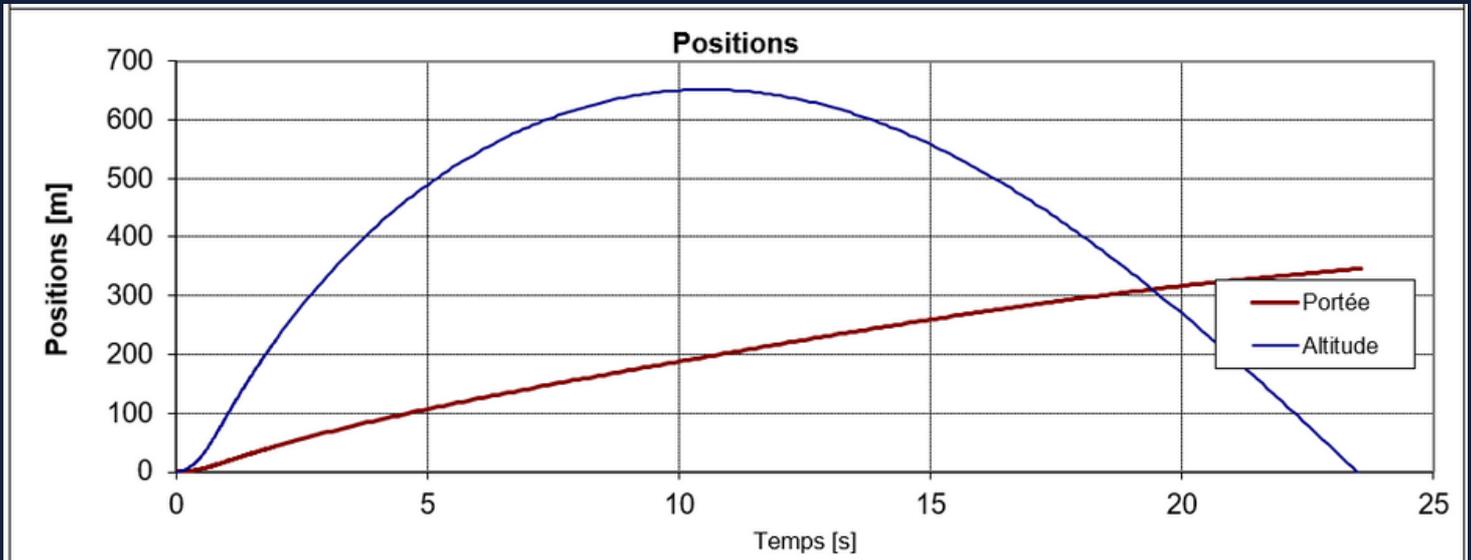
Données de simulation

Résultats détaillés	Temps	Altitude z	Portée x	Vitesse	Accélération	Angle
	s	m	m	m/s	m/s ²	°
Décollage	0	0	0	0	-	80
Sortie de Rampe	0,15	2,36	0,42	33,2	226,3	80,0
Vit max & Acc max	-	-	-	151	269,0	-
Fin de Propulsion	1,1	108	20	147	33,7	79,0
Culmination, Apogée	10,5	651	195	15	9,8	1,8
Impact balistique	23,5	~0	346	83	2,3	-85,1
Ouverture parachute fusée	10,5	651	195	15	9,8	1,8
Impact fusée sous para.	101	~0	-258 648	7	9,8	-

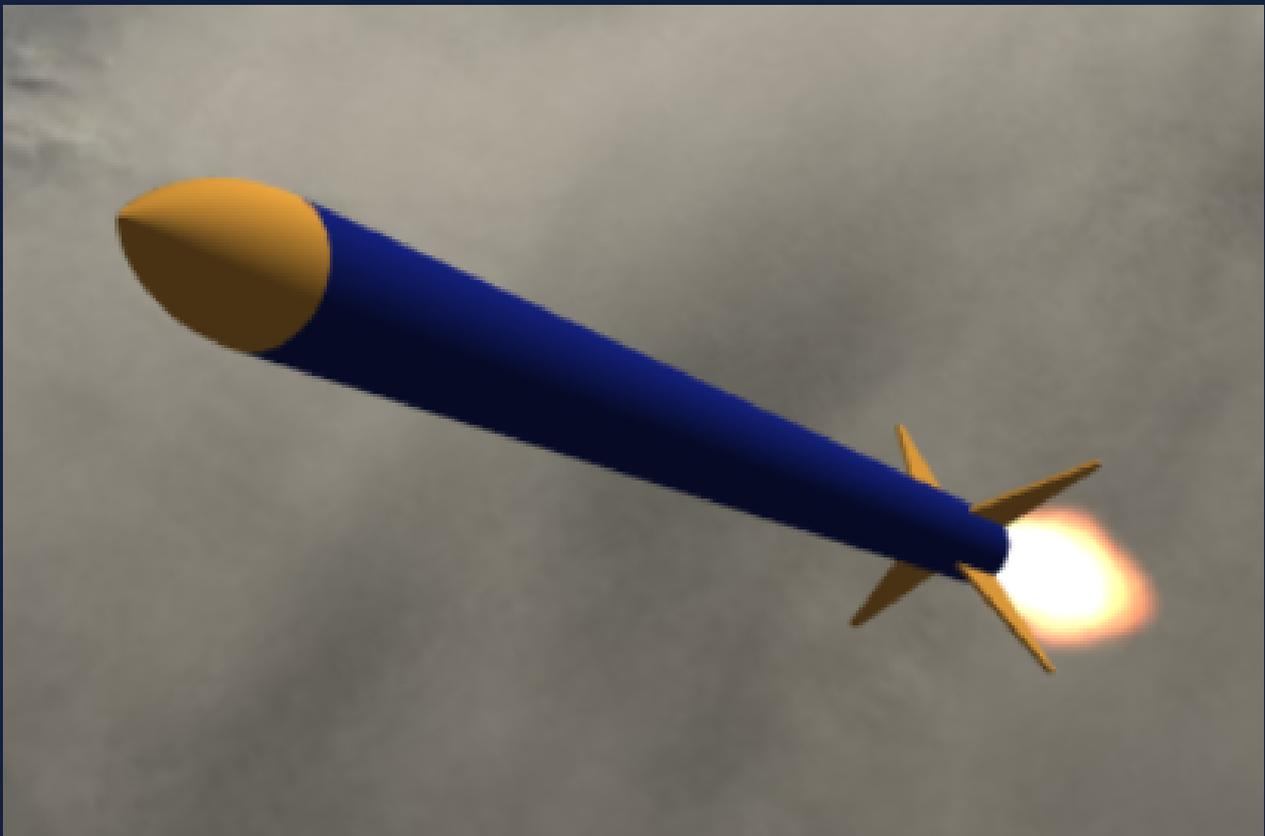


3.1 - Simulations

Données de simulation



3.4 - Illustration en vol



4.1 - Qualification au vol

On a eu chaud...

Nous sommes arrivés dans la soirée du 15 juillet à Tarbes sur les lieux du C'Space. La journée du dimanche a été dédiée à l'intégration finale de la fusée car nous souhaitons débiter la phase qualificative au plus tôt. Lundi 17 juillet nous étions aux contrôles pour qualifier notre fusée. A peine ces derniers commencés, une petite explosion se produit à l'avant de la fusée et une flamme transperce l'ogive, l'avant de la fusée se met à prendre feu....

Notre fusée est alors rapidement prise en charge par l'équipe de sécurité qui la met à l'écart, nous regardons alors impuissant une fumée noir se dégager du tube de corps de la fusée.



4.1 - Qualification au vol

Notre principale préoccupation concernait les dégâts causés par l'incendie sur la carte électronique située juste derrière l'ogive, que nous avons pu démonter une fois l'incendie entièrement éteint. Voici l'état de la carte :



Finalement nous avons eu un peu de chance dans notre malheur car au prix de deux nuits et deux jours de travail, d'un nettoyage intensif et du changement de certains composants, la carte électronique fonctionnait de nouveau correctement.

L'origine du problème

Après étude des débris, la cause de l'explosion a été identifiée : une vis à bois est rentrée dans la batterie lithium du module de télémessure (situé dans l'ogive). Nous avons beaucoup appris de cet incident : privilégier les vis à métaux, faire attention aux emplacements de vis...

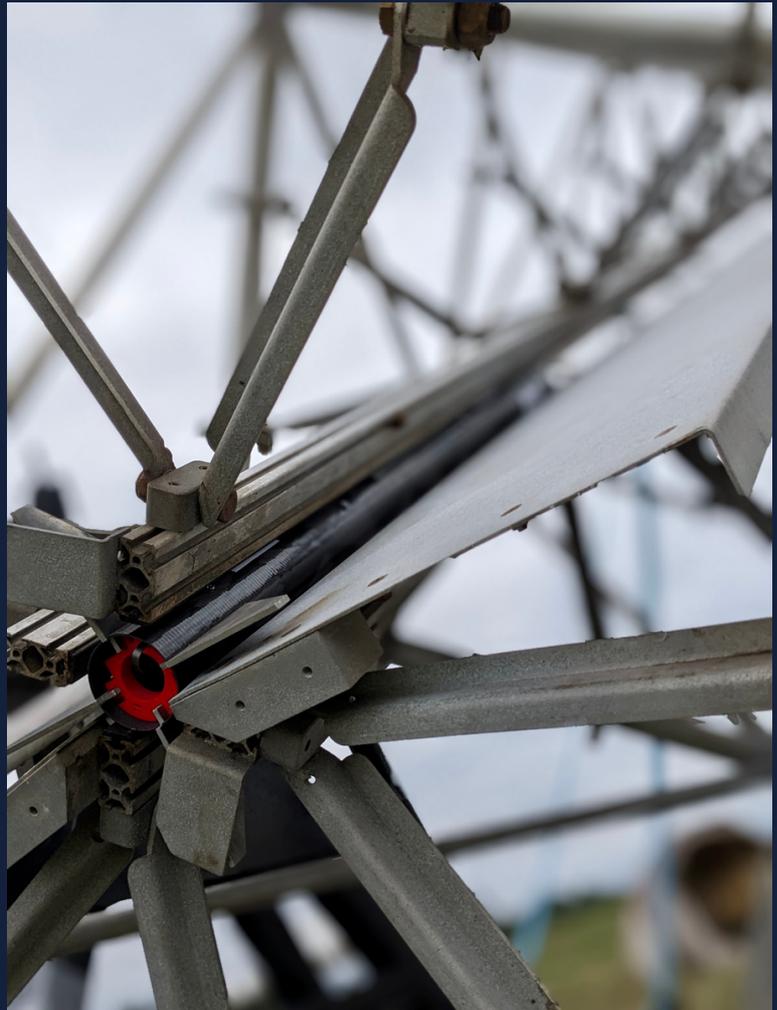
4.2 - Déroulement du vol

Lancement de la fusée :

Le mercredi 19 juillet, aux alentours de midi, notre fusée a été qualifiée apte au vol. Nous nous sommes donc rendu sur la zone de lancement.

Jour de vol	Mercredi 19 juillet 2023
Heure de vol	16h57
Météo	Ciel nuageux, pas de précipitation, bonne visibilité, température de 31 degrés, peu de vent
Rampe	Toutatis
Durée du vol	91 secondes
Trajectoire	Stable
Apogée (Stab Traj)	650 m
Statut de vol	Vol Nominal
Récupération	Projet récupéré
Coordonnée de redescente	43°13.015'N, 0°2.8460'O

4.3 - Photos du vol



Photos précédents le lancement

4.3 - Photos du vol



© Anthelme B

Photo du lancement

4.3 - Photos du vol

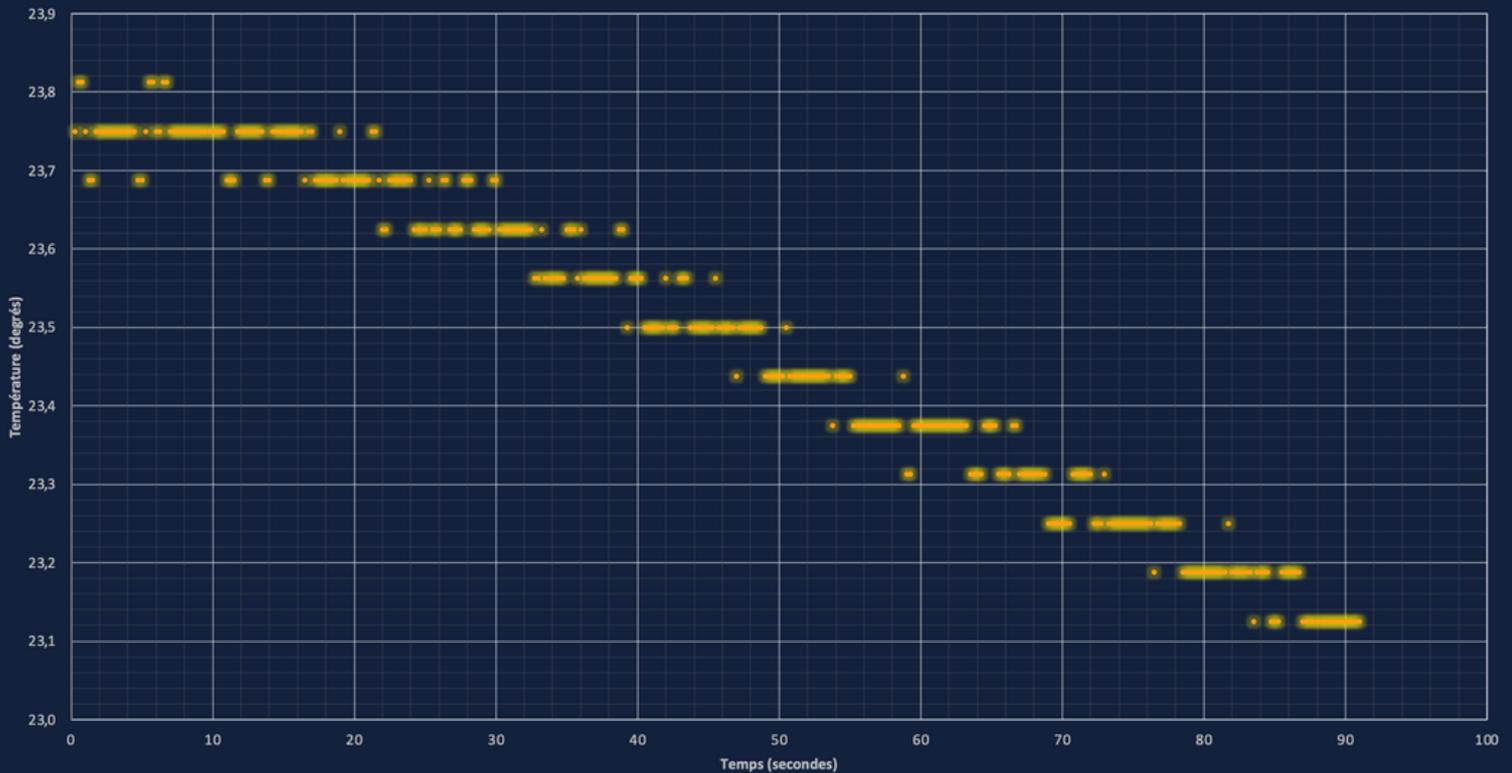


Photo de la récupération de la fusée

5.1 - Résultats expérimentaux

Nous avons pu récupérer l'ensemble de nos données de température de vol stockées sur notre carte SD. Voici les résultats :

Evolution de la température en fonction du temps - Haut



Pour rappel le capteur Haut était le capteur placé sur le PCB. Il était donc à l'intérieur du tube de corps de la fusée. Ce capteur était un MCP9808 que nous avons choisi car il nous permettait d'obtenir un grand nombre de mesures sur notre faible temps de vol. Pour rappel :

- Précision : $0,25^{\circ}\text{C}$
- Résolution : $0,0625^{\circ}\text{C}$
- Fréquence de mesure : 4 hz

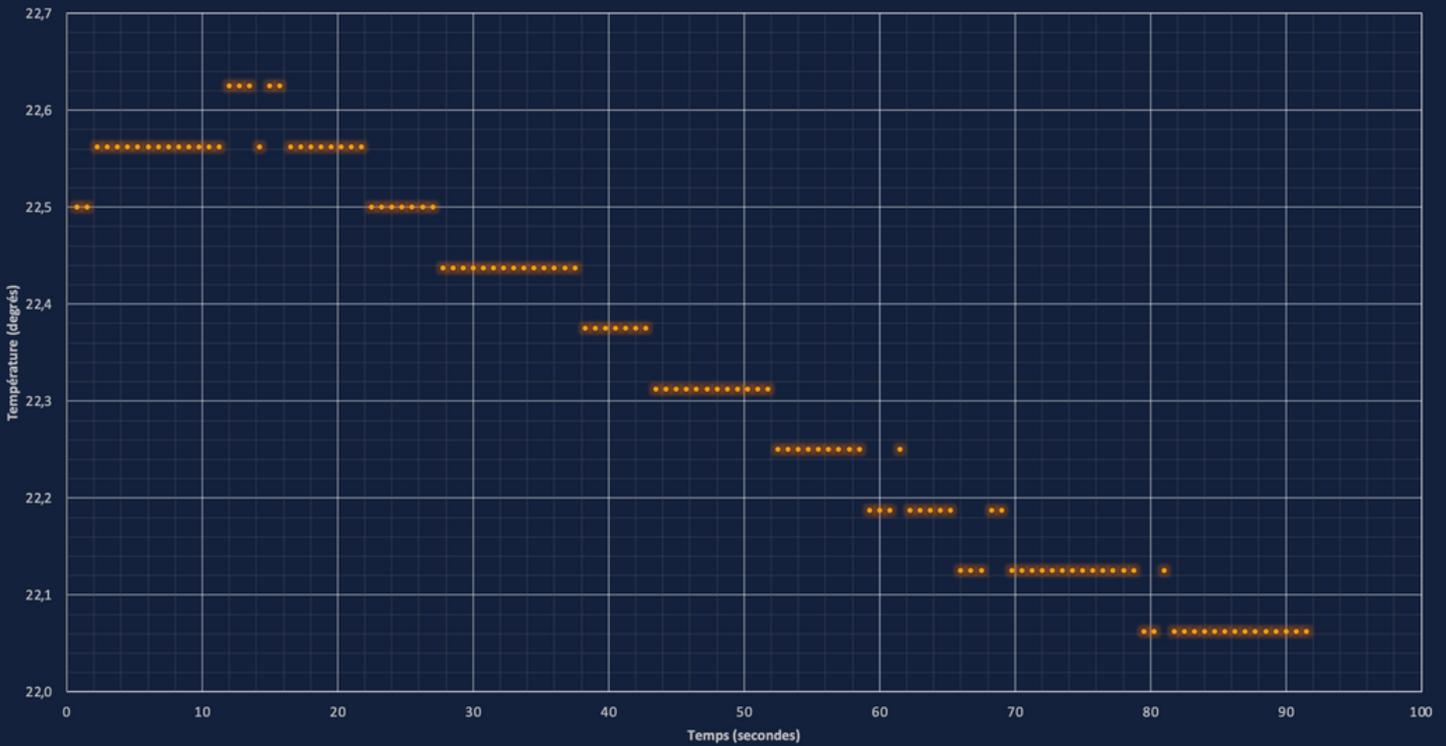
Ces différents paramètres nous ont permis d'obtenir 348 mesures de températures.

Les observations que nous pouvons tirer de ce graphique est une courbe de température décroissante d'environ $0,7^{\circ}\text{C}$ entre le début de la mesure et la fin de la mesure. Nous en ferons l'interprétation plus tard.

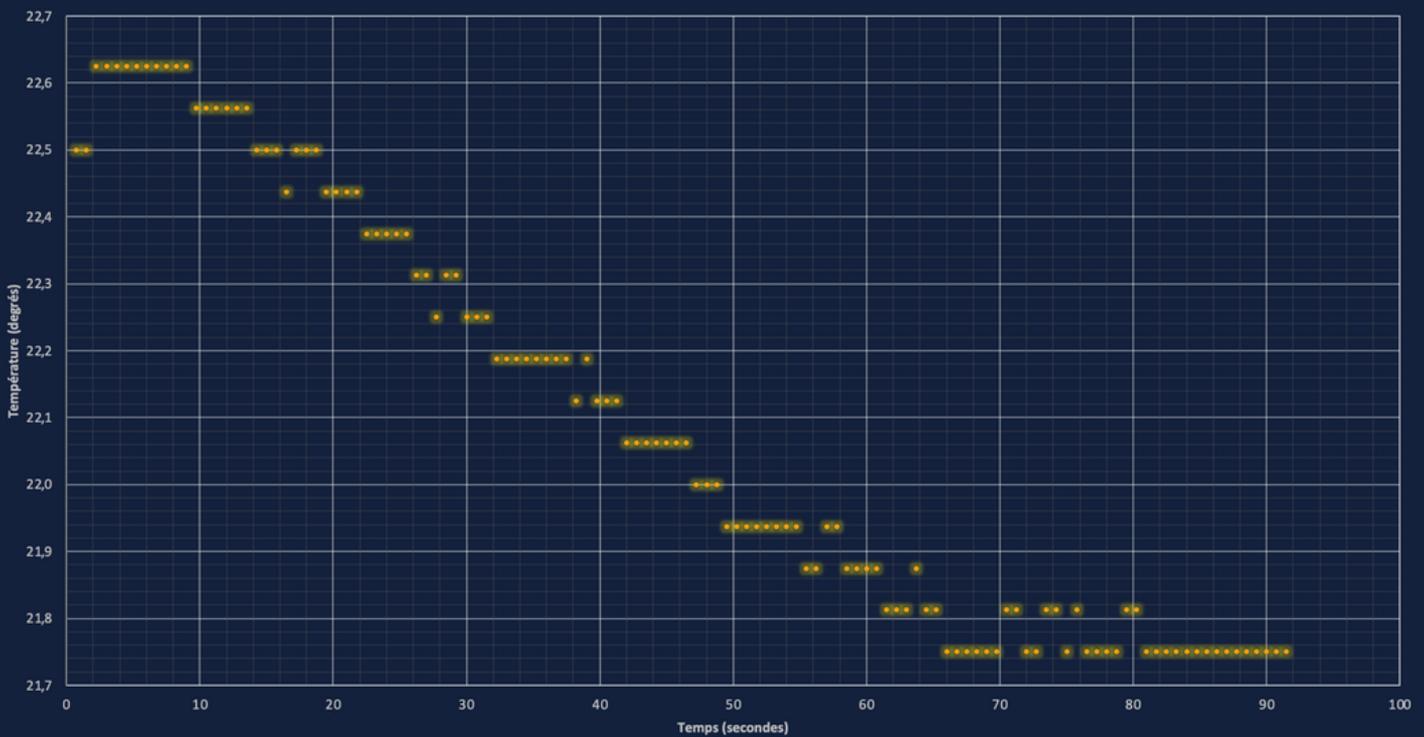
5.1 - Résultats expérimentaux

Voici à présent les résultats des deux capteurs DS18B20 :

Evolution de la température en fonction du temps - Capteur Bas



Evolution de la température en fonction du temps - Capteur Moteur



5.2 - Interprétation

Nous avons choisi ces capteurs car ils nous permettaient d'avoir des mesures précises et leur faible encombrement a été très utile pour leur intégration dans la fusée.

Le capteur Bas était situé entre la trappe parachute et l'anneau de rétention moteur, le tube de corps de la fusée a été percé pour permettre au capteur d'être en contact avec l'air s'écoulant autour de la fusée.

Le capteur Moteur, du fait de quelques soucis d'intégration était situé juste derrière l'anneau de rétention moteur, non loin du capteur Bas, à l'intérieur du tube de corps de la fusée. Pour rappel :

- Précision : 0.5°C
- Résolution : 0.0625°C
- Fréquence de mesure : 1,3 hz

Ces différents paramètres nous ont permis d'obtenir 122 mesures de températures pour chaque capteur.

La encore la tendance est décroissante avec une variation comprise entre $0,9^{\circ}\text{C}$ et $0,6^{\circ}\text{C}$ entre le début et la fin des mesures.

Interprétation des résultats :

Tout d'abord, on peut voir que les résultats obtenus ne correspondent pas aux résultats attendus. En effet nous pensions pouvoir observer une chute d'environ 4°C sur la phase ascendante (10 premières secondes du vol) suivis d'une réaugmentation progressive de la température sur la phase descendante de la fusée (80 secondes suivantes). Cependant, les résultats des deux derniers capteurs nous montrent l'inverse : la température augmente sur les premières secondes puis diminue.

Il faut donc déterminer une explication possible à ces résultats.

5.2 - Interprétation

- **Un dysfonctionnement des capteurs ?**

Le fonctionnement des capteurs ne peut être remis en cause car les trois capteurs, de deux modèles différents indiquent des résultats du même ordre de grandeur.

- **Le positionnement des capteurs ?**

Le positionnement des capteurs participe sûrement en grande partie à nos résultats erronés. En effet, deux capteurs sur trois étaient placés à l'intérieur du tube de corps de la fusée, les isolant ainsi de tout contact possible avec l'air. On peut même alors expliquer la tendance décroissante des courbes : l'échauffement provoqué par le propulseur génère une augmentation de la température à l'intérieur du tube de corps. Puis la courbe s'inverse une fois le parachute ouvert quand l'air ambiant s'engouffre dans le tube de corps et vient refroidir l'air échauffé.

- **Un vol trop rapide et à trop grande vitesse**

La encore les caractéristiques de notre vol, ont rendu les mesures difficiles, en effet, 10 secondes de vol à plus de 540 Km/h ne permettent pas l'acquisition d'un grand nombre de mesure et diminue aussi la fiabilité des mesures obtenues

- **Des résultats à relativiser**

Enfin, il faut tout de même comparer nos variations de mesures de température avec la précision de nos capteurs. Nos capteurs avaient une précision comprise entre $0,25^{\circ}\text{C}$ et $0,5^{\circ}\text{C}$ et nous avons observé des variations comprises entre $0,6^{\circ}\text{C}$ et $0,9^{\circ}\text{C}$ ce qui rend les mesures difficilement exploitables.

6.1 - Conclusion

Les points positifs du projet :

- **Segmentation et découpage des tâches** : Nous pensons qu'un de nos points forts a été notre division du travail en deux parties distinctes permettant à chacun d'avancer de son côté sans gêner le travail de l'autre, mais suffisamment interdépendante pour avoir une vue globale sur l'avancement du projet.
- **Deux amis motivés et curieux** : ce projet n'avait rien de scolaire, ce fut une réelle aventure partagée entre deux amis désireux d'en apprendre plus sur le spatial et la construction de fusée. Le travail était toujours mené dans la bonne humeur, même dans les moments difficiles ce qui le rendait passionnant.
- **De bonnes ressources et un soutien solide** : l'aide que nous avons pu recevoir tout au long du projet par différents acteurs (laboratoire de l'école, membres de l'association, bénévoles de l'organisation) nous a été très précieuse et bénéfique.

Ce qui pourra être amélioré :

- **La gestion des délais fournisseur** : Nous avons souvent été dans des situations de stress à cause des délais de livraison de nos produits. C'était la première fois que nous devions gérer des commandes de matériels et nous nous sommes fait surprendre à plusieurs reprises
- **La prise en compte de l'intégration** : La phase d'intégration nous a posé de nombreux soucis (en partie à cause du faible diamètre de notre fusée) et une meilleure prise en compte de cette phase difficile à l'avenir ne pourra être que bénéfique
- **Prise en compte des paramètres expérimentaux** : L'objectif principal de projet restait avant tout le lancement d'une fusée, comprendre les mécaniques de vol, l'importance des différentes phases de vol, la construction pratique de la fusée. Maintenant que nous avons pu appréhender cette partie, nous pourrions donner plus de place à l'expérience scientifique embarquée.

6.2 - Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement l'ensemble des personnes qui nous ont soutenu, aidé et encouragé dans la conduite de ce projet. Sans vous l'aventure n'aurait pas pu se concrétiser.

Un merci particulier à Mr Paul MIALHE et Mr Paul BOYMOND, pour l'accompagnement et le savoir précieux qu'ils ont su nous transmettre. Merci à Mr Hugo ALLAIRE pour ses conseils, son suivi et son expérience qu'il nous a partagé lors des revues de conceptions ainsi que pendant la semaine de lancement. Merci à Mr Raynald DUMAS pour le temps, l'expertise et son dévouement le jour du lancement. Merci à Mr Hubert TAXIL pour les ressources mises à disposition, sa patience et son engagement à nos côtés.

Enfin, un grand merci au CNES et à l'association Planètes Sciences pour le temps et les moyens qu'ils mettent à disposition pour donner vie à notre passion. Merci aux organisateurs et aux bénévoles présents lors de l'évènement. Merci au 1er Régiment de Hussards Parachutistes de Tarbes pour l'accueil sur leur base militaire.

6.3 - Un dernier mot

C'est avec émotion que nous parvenons à la fin de ce projet. Nous sommes fiers et heureux d'avoir accompagné EPSILON jusqu'à son apogée, une expérience qui nous a apporté tant à de nombreux niveaux. En effet, nous avons pu développer un large éventail de compétences : techniques, scientifiques, managériales et organisationnelles. De plus, cette aventure nous a offert l'opportunité de faire de nombreuses rencontres, nous plongeant ainsi au cœur du monde passionnant de l'aérospatial, entourés de personnes tout aussi passionnées que nous. Tout au long de l'année, nous avons été confrontés à la résolution de problèmes concrets que nous avons pris plaisir à résoudre. Le fait d'être livrés à nous-mêmes pouvait certes être un peu déstabilisant au début, mais s'est avéré être un formidable moyen de nous pousser à réfléchir à de nouvelles solutions, stimuler notre esprit d'analyse et notre capacité à innover.

Ce n'est que le début d'une longue aventure, ce premier projet a fait naître une flamme qui n'est pas prête de s'éteindre c'est pourquoi nous vous donnons rendez-vous l'année prochaine pour plus de hauteur et d'ambition 

Evann et Aldric

6.4 - Pour aller plus loin

- Vidéo récapitulative de notre projet :

<https://lnkd.in/g5AsPu3a>

- Article de presse présentant le projet :

<https://www.mines-stetienne.fr/panoramines/2023/07/28/decollage-reussi-pour-deux-etudiants-de-mines-saint-etienne/>

- LinkedIn de l'association :

<https://www.linkedin.com/company/mines-space/mycompany/>

- Pour nous suivre:



Aldric Parent
Étudiant à l'école des Mines de Saint-Etienne -
cursus ingénieur civil des Mines (1ère année)



Evann Kurzawa
Étudiant(e) à École des Mines de Saint-Étienne





Project

2023