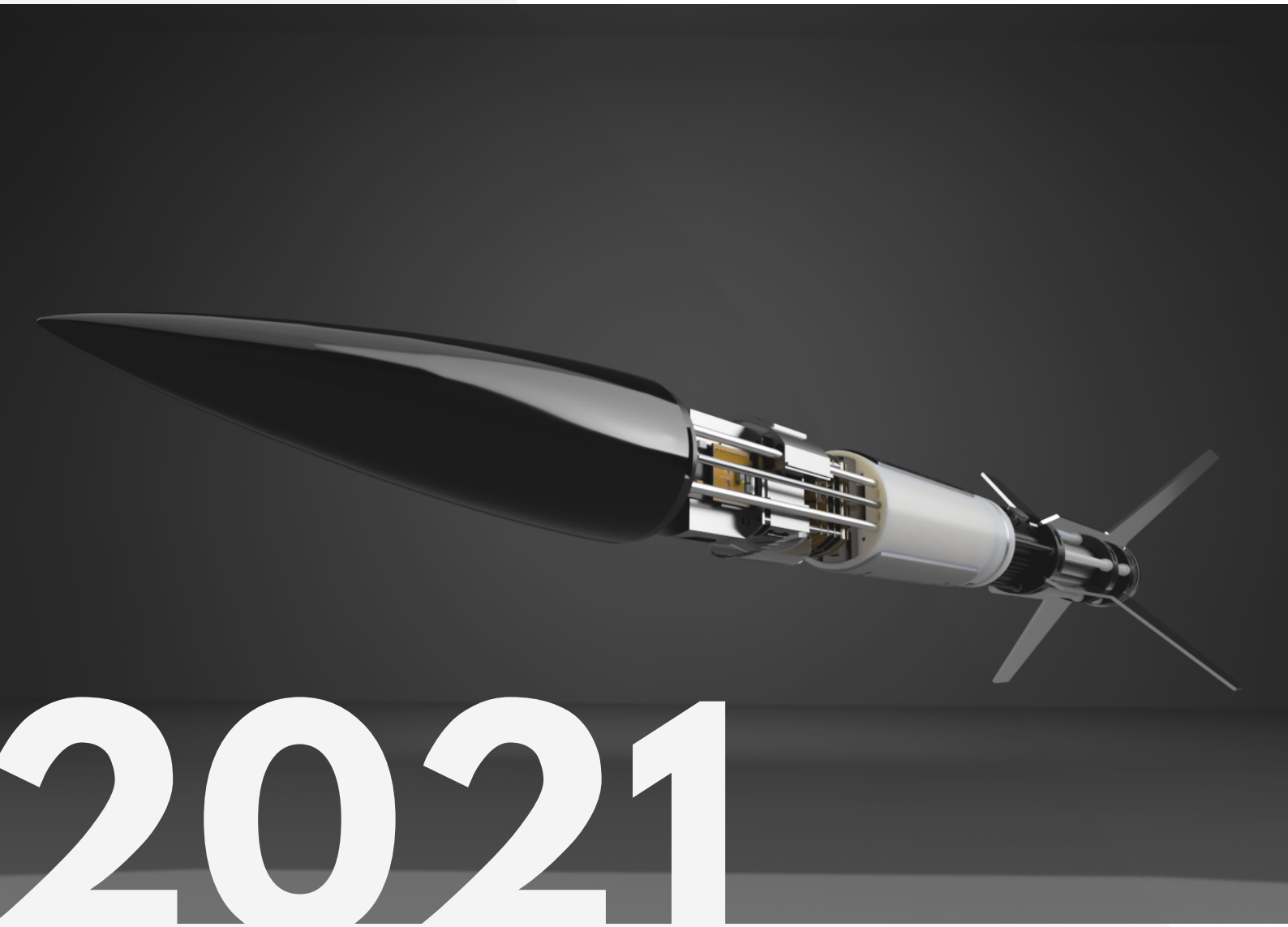
PROJET MINES SPACE

MINES SPACE : DOCUMENT DE DÉFINITION DE MARSAUT 0

VERSION N. 05



2021

RÉALISATION D'UNE FUSÉE EXPÉRIMENTALE DANS LE CADRE DU C'SPACE

Juin 2021

SOMMAIRE :

1 Introduction

3 Dimensionnement de Marsaut 0

4 L'architecture embarquée

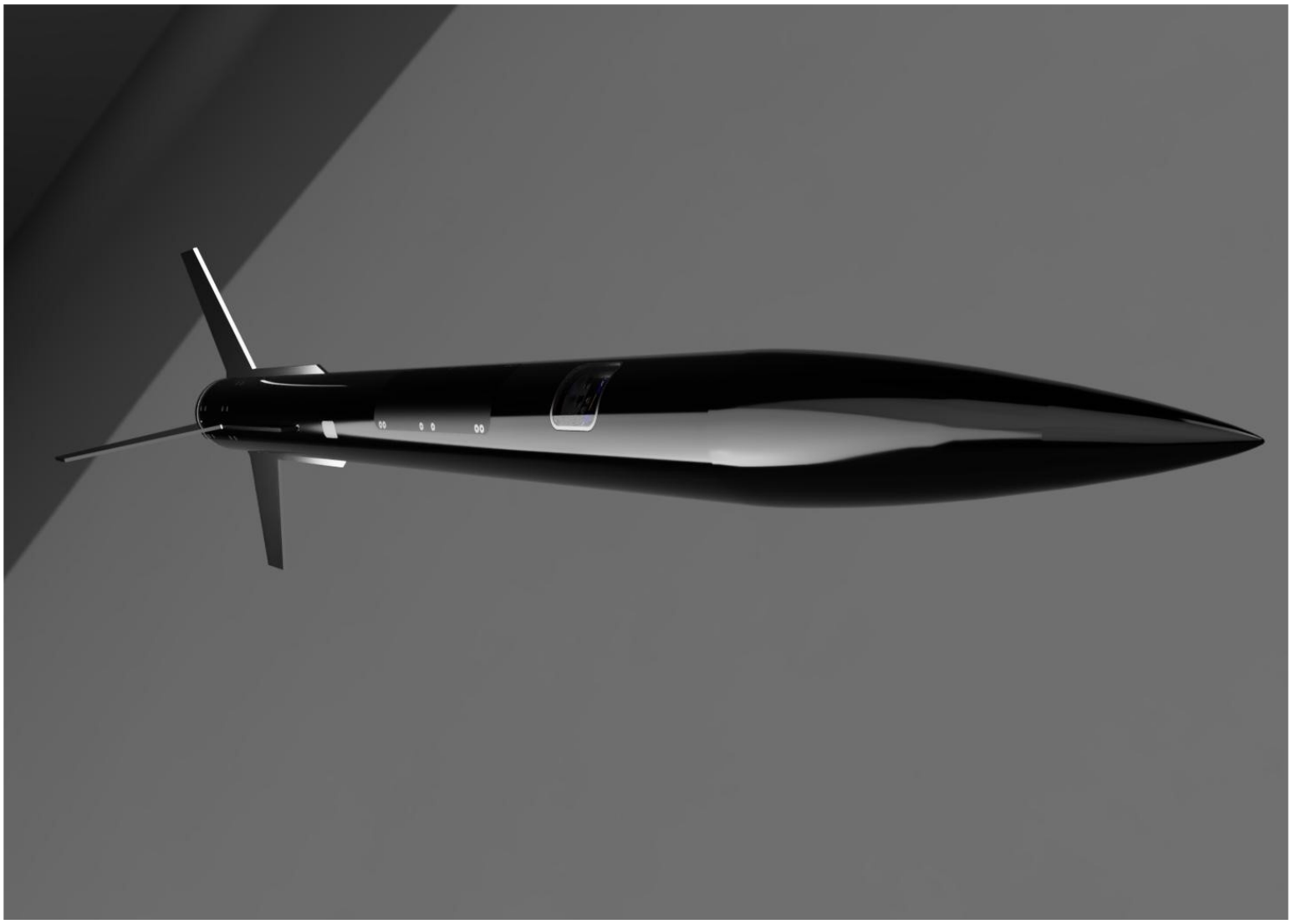
8 Déploiement du parachute

9 Station sol & Méthode métrologie

10 Simulation CFD & Etude Thermique

11 Plan FUSEX

12 Equipe - Contacts



LA MISSION

MARSAUT 0

L'équipe de Mines Space
Logo de la mission Marsaut 0

L''histoire de Mines Space a commencé en fin d''année 2019, avec le rassemblement de plusieurs étudiants passionnés d'aérospatial. Très rapidement, l'idée première à été de pouvoir participer à la réalisation d''une fusée sonde, et poussé par l'ambition de certains, nous avons décidé de réaliser un vrai projet : la mission MARSAUT.

Ce nom, qui a une symbolique très forte avec l''Ecole des Mines de Saint-Étienne (EMSE), est celui que nous souhaiterions faire briller lors de la campagne C''Space organisée pas le CNES - Planète Science en juillet 2021.

CONTEXTE

On entend régulièrement parler de « FUSEX », contraction de « FUSée » et de « EXpérimentale », ces deux termes désignant le même vecteur, un lanceur de masse moyenne environ de 5 à 10 kg pouvant atteindre des altitudes supérieures à 1 000 m.
Chaque FUSEX est unique en possédant sa propre expérience scientifique ou innovation technique. De cette façon, il y a de nombreuses expériences et démonstrateurs techniques qui peuvent être utilisés dans une FUSEX, comme les études atmosphériques à travers l'utilisation d'un ou plusieurs capteurs, l'analyse des propriétés dynamiques du vol, ou encore l'essai de nouveau système modifiant ou contrôlant une caractéristique du lanceur (nouveau type de parachute, système de télémesure, contrôle de roulis ...).

La réalisation d'un projet du type Fusex en France se déroule avec l'aide du CNES (Le Centre National d'Étude spatiale) et planète Science (Association dédiée à la Science et à la jeunesse). Ils soutiennent l'initiative en encadrant l'ensemble des projets spatiaux en France. Chaque année, ils organisent la campagne nationale de lancement des projets étudiants dans le domaine de l'espace, le C'Space. C'est pour cette occasion après un contrôle minutieux que les fusées sont mises à feu.

OBJECTIFS

Pour notre premier projet spatial étudiant, nous voulons réaliser une FUSEX monoétage, baptisé Marsaut 0. Elle a pour rôle de nous permettre d'étudier une architecture de suivi.
À travers l'utilisation d'une télémesure (Radio - Lora : 868 Mhz), nous voulons avoir la capacité d'obtenir en temps réel, les paramètres de vols de la fusée grâce à des capteurs in situ (Trajectoire, Effort subit, Événements vols).
Cette étude nous permettra de valider l'ensemble de notre système de suivi ainsi pouvoir le réutiliser sur des projets futurs.

Notre charge utile se décompose en deux parties :

- Un système embarqué dans la fusée permettant l'acquisition in situ des données de vol et leur transmission par un module radio.
- Une station sol pouvant récupérer les télémesures et afficher sur un moniteur les différentes informations.

Dimensionnement de MARSAUT 0

Marsaut 0 a pour but d'être un démonstrateur technique dédié à l'étude d'un système de mesures et de télémesure et non au caractéristique du vol. La trajectoire de notre lanceur sera classique et ne possèdera pas de caractéristique spécifique (non supersonique, pas de contrôle de roulis ...). Nous avons dimensionné notre FUSEX à partir de ces critères.
Ainsi, nous avons obtenu, une fusée mesurant **1250** mm de hauteur, un diamètre de **90** mm (86 mm int) pour une masse totale estimée à **7500g** (avec masse moteur). Notre fusée est équipée de 4 aillerons profilés en forme libre, elle est mono-empennage. Pour correspondre aux attentes du vol, le moteur que nous voulons utiliser est un **PRO-54-5G Barasinga**.

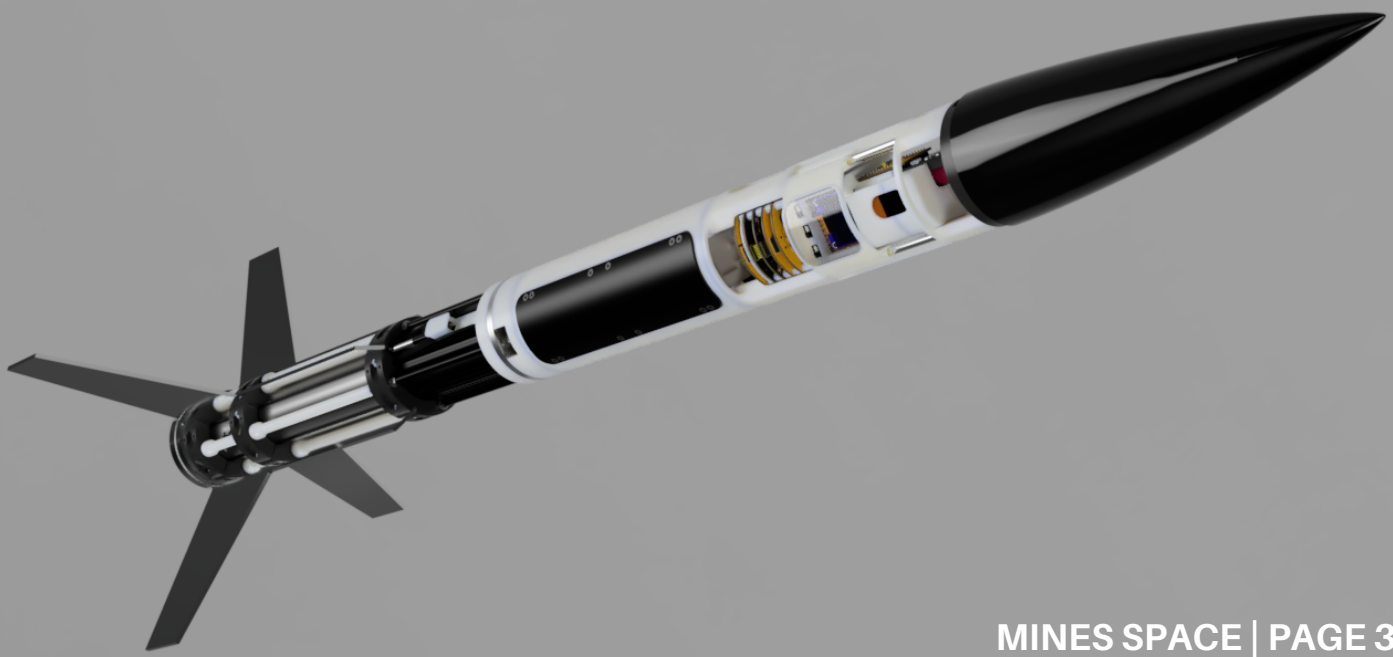
Dans cette configuration, compte tenu de ces paramètres, nous estimons atteindre **une apogée de 1705m avec une vitesse max de 223 m/s et une accélération maximum de 110 m/s².**

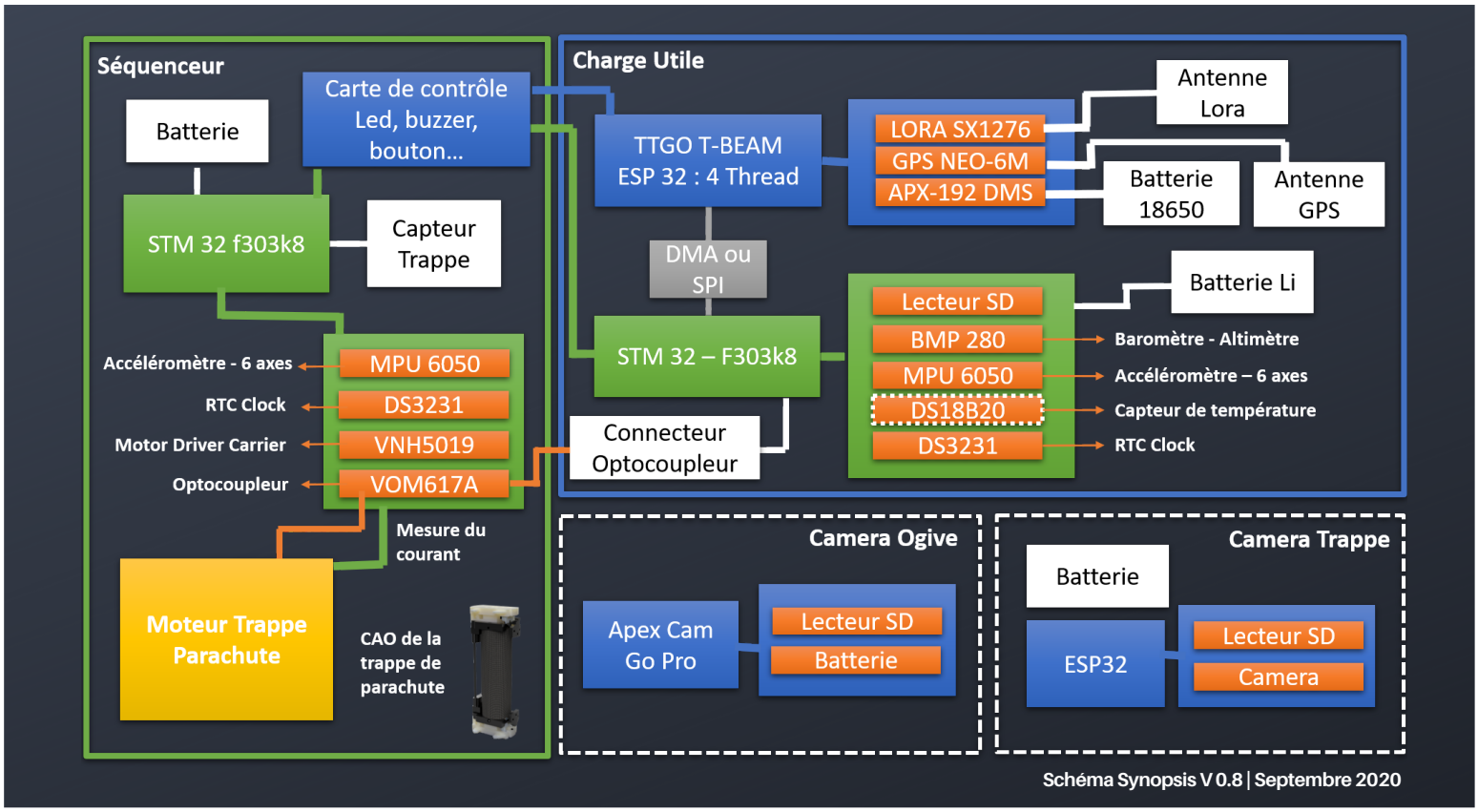
Pour obtenir ces dimensions et les critères de stabilité de la fusée, nous nous sommes basés sur trois logiciels, **StabTraj** et **OpenRocket** permettant de réaliser des simulations à partir de la méthode de Barrowman et **Fusion360** pour le design CAO et les simulations structurelles (voir chapitre 11).

Concernant la disposition mécanique, notre fusée repose sur une structure interne. Elle se compose de trois parties distinctes, un bloc moteur, la partie système de descente, et un rack électronique comprenant le séquenceur et la charge utile.

Les principaux matériaux qui composent la fusée sont facilement usinables.
Nous utilisons de nombreuses pièces réalisées en **ABS** ou en **PLA** provenant d'impression 3D (additive manufacturing). Pour les pièces en métal, nous favorisons l'**aluminium** pour sa légèreté et sa facilité d'usinage à partir d'une CNC (computer numerical control). La structure repose sur 4 tiges filetées en acier parcourant la fusée.

Vue CAO de l'assemblage total sans peau





L'Architecture électronique embarquée

L'architecture électronique de notre fusée se décompose en deux parties, le contrôleur de vol (Séquenceur) et la charge utile.

Séquenceur :

La carte Séquenceur est le centre de commande de notre fusée. C'est elle qui cadence et analyse les étapes clés lors du vol de notre mission. Elle est aussi en charge de transmettre chaque événement vol et d'enclencher le système de récupération.

Pour réaliser ces analyses, la carte possède deux capteurs, lui permettant dans un premier temps d'estimer l'accélération et la vitesse de notre véhicule et dans un second temps de cadencer le vol à travers une horloge embarquée.
La carte possède aussi une puce driver pour moteur continu qui lui permettra d'actionner les deux moteurs du système de récupération.

La carte séquenceur a sa propre carte d'alimentation avec deux batteries Lithium. Une alimente la carte de contrôle et l'autre est dédiée aux moteurs de déploiement parachute.

Charge Utile :

La charge utile est composée de deux cartes distinctes :

- **APU (Acquisition & Processing Unit)** en charge de l'acquisition, l'enregistrement et la transmission des paramètres vols de la fusée.
- **LTS (Localization & Telemetry System)** en charge du positionnement GNSS et de la transmission radio des données.

Chacune des cartes possède sa propre batterie Lithium dans le format 18650, ou 6LR61 pour garantir leurs fonctionnements individuels.

APU

(Acquisition & Processing Unit)

Lors de sa mission, la FUSEX récolte des informations sur son environnement grâce à des capteurs.
Ces derniers récupèrent des données qui sont traitées et enregistrées via l'intervention d'un microcontrôleur.
Pour mettre en place ce système, nous avons décidé de réaliser une carte dédiée à ces tâches : l'APU.

La carte APU est divisible en 3 parties :
1: **Acquisition** des données capteurs
2: **Traitements** des données
3: **Stockage** des données (data logger)

Partie Acquisition :
Cette partie est essentielle à la mission, elle permet de récupérer les données de vol de la fusée afin de les stocker, mais aussi des les envoyer en temps réel à la station sol.
Elle se compose de 4 capteurs numériques, tout communicant sur un bus unique I2C cadencé à 400kHz.

Liste des capteurs :
a. **IMU6050** : Centrale inertielle 6 axes
b. **BMP280** : Baromètre
c. **DS18B20** : Thermomètre
d. **DS3231** : RTC (Real Time clock)

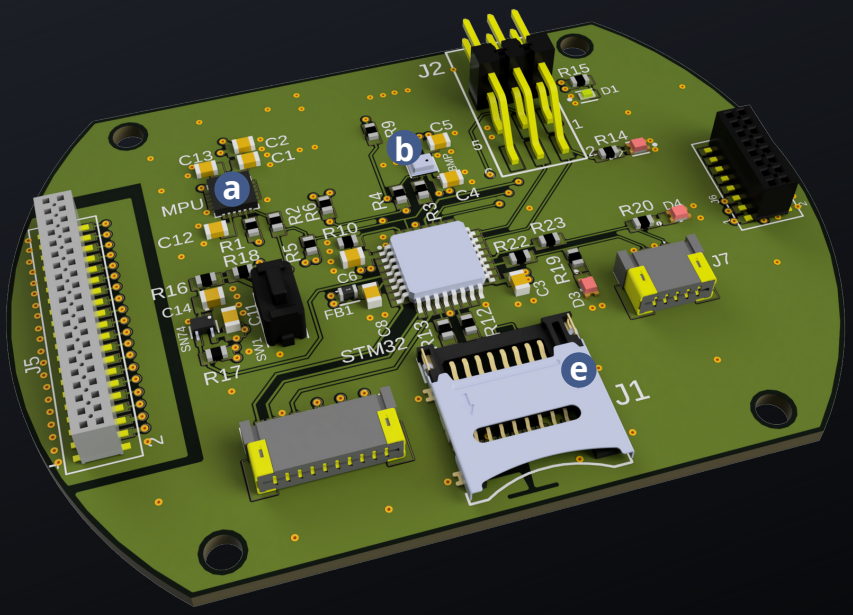
Partie Traitement :
La partie traitement se fait à l'aide un microcontrôleur de chez STMicroelectronics, le STM32F303K8. Il s'agit d'un mini-microcontrôleur 32 pins performant et capable de répondre à nos exigences.

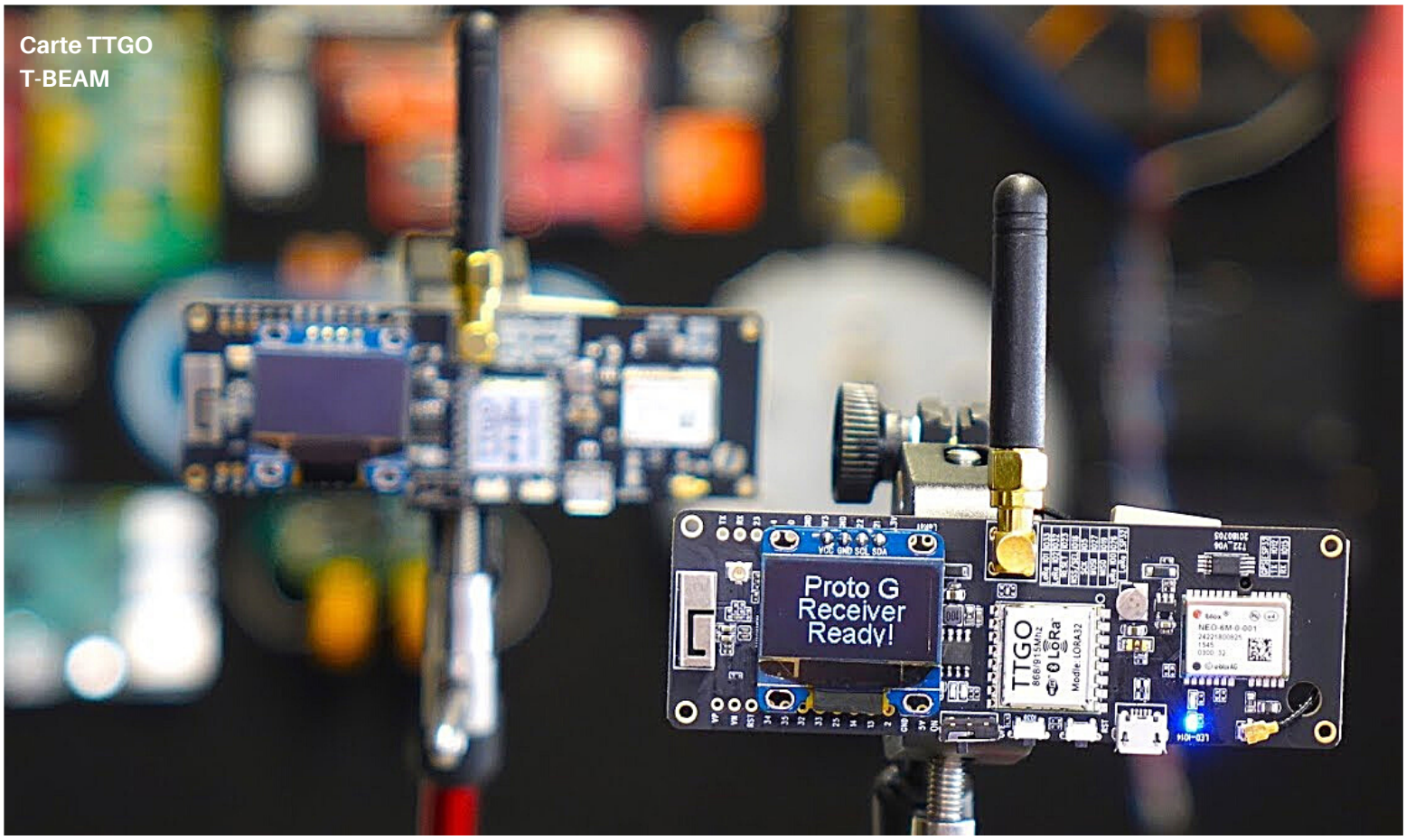
Il possède aussi les 3 périphériques de communications qui nous sont nécessaires :
- I2C
- SPI
- UART/USART

Partie Stockage :
Afin d'enregistrer les données tout au long de la mission, un data logger est présent sur cette carte :
e. **Support micro-SD** (data logger)

Couplée au middleware FATFS, cette solution a pour avantage d'être facile à prendre en main et à utiliser pour l'extraction des données.

La carte APU version final en vue 3D





Carte TTGO
T-BEAM

LTS

(Localization & Telemetry System)

Pour notre mission, nous voulons pouvoir suivre les paramètres de vol de la fusée en direct. Nous utilisons une carte électronique dédiée, le module LTS.
La carte LTS est une carte commerciale, la **TTGO-T-BEAM V1.1,** autonome, fabriquée par la compagnie chinoise Lilygo dédiée au protocole de télécommunication Lora et au positionnement par GNSS.

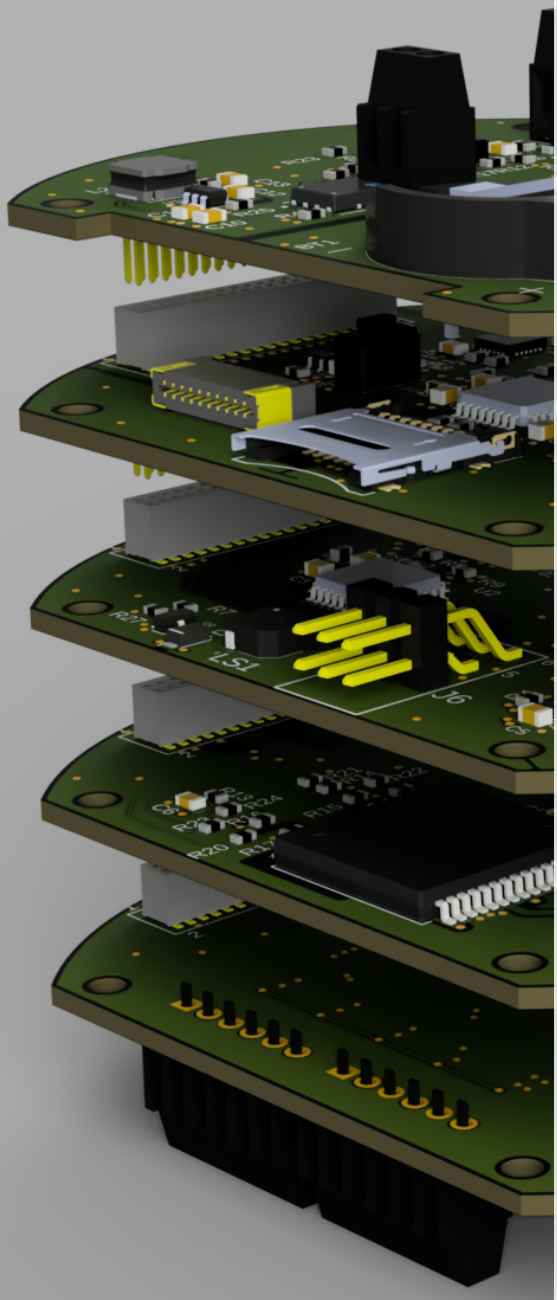
Microcontrôleur:
La carte TTGO est équipée d'un processeur ESP32-DOWDQ6. Cette puce conçue pour accueillir un OS temps réel (**FreeRTOS**), correspond à l'ensemble de nos critères pour nos applications.

Dédiée aux applications multitâches, tout en étant peu consommatrice, elle va pouvoir gérer l'ensemble des modules composant notre carte LTS (Communication, positionnement, SPI, Batterie) en temps réel et de façon simultanée.

Protocole Lora :
Notre carte LTS possède une puce de **Semtech SX1276** permettant d'utiliser le protocole Lora sur les fréquences **868-869Mhz**, Le Lora est un protocole de communication radio bas débit sur de longues distances.

Module GNSS :
Notre carte LTS est équipée d'un module **GPS NEO-6M.** C'est une puce de la société u-blox de Géolocalisation nous permettant de localiser la fusée.

Système général :
Le système LTS a pour rôle de transmettre à la station sol l'ensemble des paramètres vol reçu par l'APU. Pour échanger les informations vol, la carte LTS est reliée en SPI à la carte APU et envoi les informations par le module radio en temps réel. Lors de l'atterrissage de notre fusée, elle aura le rôle de transmettre les cordonnés GPS pour la récupération de notre fusée.



Séquenceur

(Contrôleur de vol)

Pour réaliser sa mission, notre Fusex doit avoir un centre de commande qui lui permet de déclencher les différents actionneurs en fonction des paramètres vol.
Pour répondre à ce besoin, nous concevons une carte séquenceur avec les normes du CNES et de Planète Science.

Le séquenceur est divisé en 3 parties :
1: **Analyse** des paramètres vols
2: **Traitements** des données
3: **Déclenchement** des actionneurs

Partie Analyse :
Notre séquenceur a besoin de connaitre deux paramètres vol pour estimer ses différentes phases, l'accélération et la durée du vol. Pour obtenir ces données, nous allons utiliser deux capteurs numériques communiquant en I2C :

- a.**IMU6050** : Centrale inertielle 6 axes
- b.**DS3231** : RTC (Real Time clock)

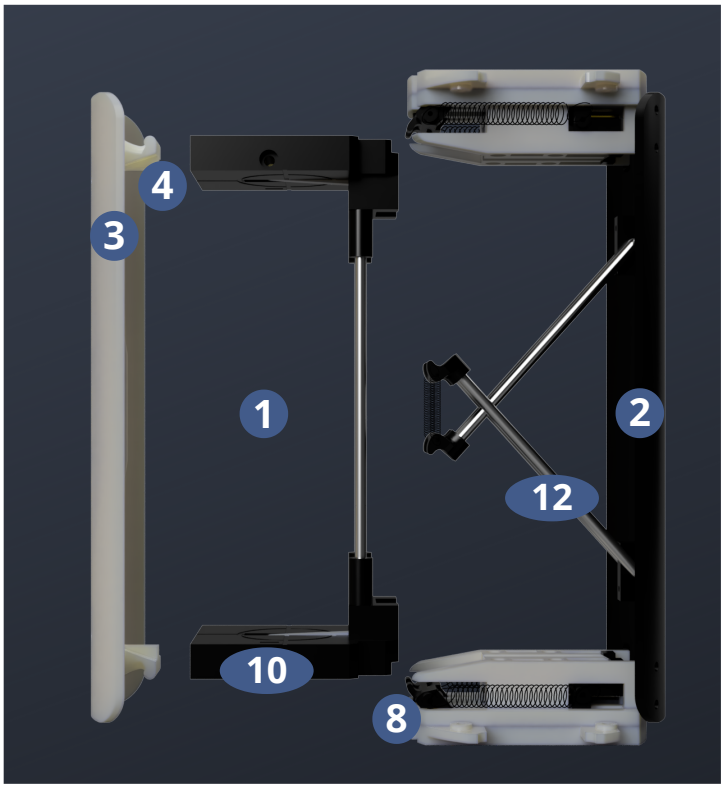
Partie Traitement :
Similairement à l'APU, la partie traitement se fait à l'aide d'un microcontrôleur de chez STMicroelectronics, le STM32F303K8.
Pour pouvoir déduire les étapes du vol (décollage, apogée, atterrissage..), le séquenceur analyse les données d'accélération en fonction du temps.
Pour valider une étape franchie, il compare les résultats en fonction de la durée des phases pré remplies à l'aide des simulations. Si aucun événement n'a pu être détecté dans les délais maximums fixés, l'horloge déclenche automatiquement une étape.

Partie Actionneur :
Le séquenceur possède un actionneur et un transmetteur :

- **ADUM226N** : isolateur numérique i2c
- **VNH5019** ; Motor Driver Carrier

Le driver de moteur est dédié aux contrôles des deux motos réducteurs permettant le déploiement du parachute. L'isolateur numérique va permettre de transmettre les étapes vols à l'APU dans un sens unique et sans liaison électrique.

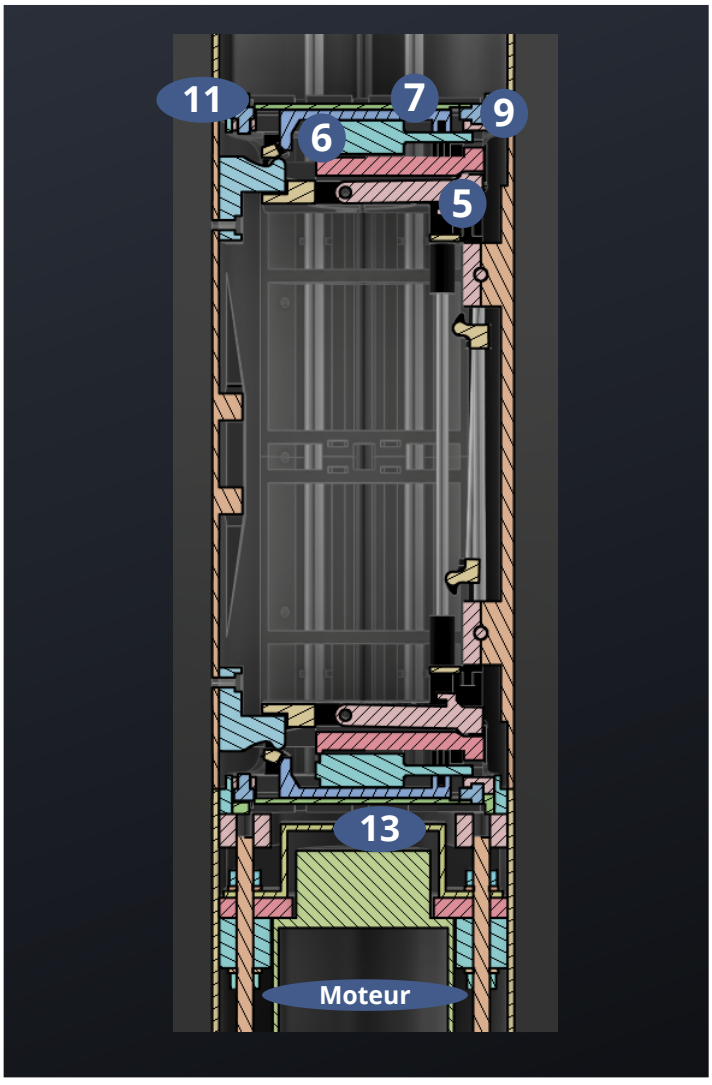
Déploiement du parachute



Une fois l'apogée atteint, la trappe de notre Fusex doit être éjectée pour permettre le déploiement du parachute. Pour cela, Marsault 0 est dotée d'un système 4 actions :

- Serrage et verrouillage de la trappe pour la plaquer contre le joint d'étanchéité,
- Verrouillage du chariot de 'catapultage' du parachute,
- Déverrouillage de la trappe contrôlée,
- Déverrouillage et catapultage du parachute.

Légende du système (vue de coupe dans la hauteur) :
1: Parachute plié,
2: Trappe technique (vissée par l'extérieur),
3: Trappe d'éjection (éjectée par le système),
4: Crochet de serrage de la trappe d'éjection (solidaire à la trappe),
5: Goupille parachute,
6: Motoréducteur miniature



7: Loquet de serrage et déverrouillage de la trappe et du parachute,
8: Crochet de verrouillage de la trappe d'éjection,
9: Capteur 'système armé' (Système en position verrouillé pour le parachute et la trappe),
10: Chariot de catapultage du parachute,
11 : Capteur 'Système désarmé' (Système en position déverrouillé pour le parachute et la trappe).
12 : Bras d'éjection
13 : Point d'ancrage du parachute
Deux capteurs (non visibles sur le schéma) permettent de détecter si la trappe et le parachute sont éjectés ou non.

Fonctionnement :
Pour armer le système, il suffit de placer le chariot parachute à son emplacement puis de positionner la trappe. Les motoréducteurs vont alors verrouiller le système en serrant la trappe à l'aide de puissants ressorts. La goupille du chariot parachute va alors également se verrouiller.
Pour désarmer le système, les motoréducteurs tournent dans l'autre sens. Il déverrouillent la trappe puis libèrent la goupille du chariot parachute. Ce dernier va alors expulser la trappe et littéralement, catapulter, à l'aide de puissants ressorts, le parachute en dehors de la fusée.

Le système est capable de déployer le parachute en moins de 3 secondes avec une grande fiabilité. Il est également très simple à utiliser puisqu'il suffit d'alimenter les motoréducteurs. Il permet d'avoir un suivi complet des différentes actions avec ses 6 capteurs : système armé, système désarmé, trappe en place, trappe non présente, parachute en place, parachute non présent, la version 1 a été produite et testée. Elle a permis de valider le design du système qui est maintenant à la phase d'optimisation.

Station sol & Méthode métrologie

Pour pouvoir récupérer l'ensemble des informations transmît par la fusée lors du vol, nous devons concevoir une station sol.
Elle se décompose en deux parties :

- Une partie réception (antenne+microcontrôleur)
- Une partie IHM (Interface graphique reliée en USB)

Partie réception :

Le module se décompose simplement en deux éléments, l'antenne avec une puce de Semtech SX1276 pour protocole Lora et un microcontrôleur du type ESP en temps réel. Directement relié à un ordinateur, le module décodera les informations reçues et transmettra les données via un protocole USB.

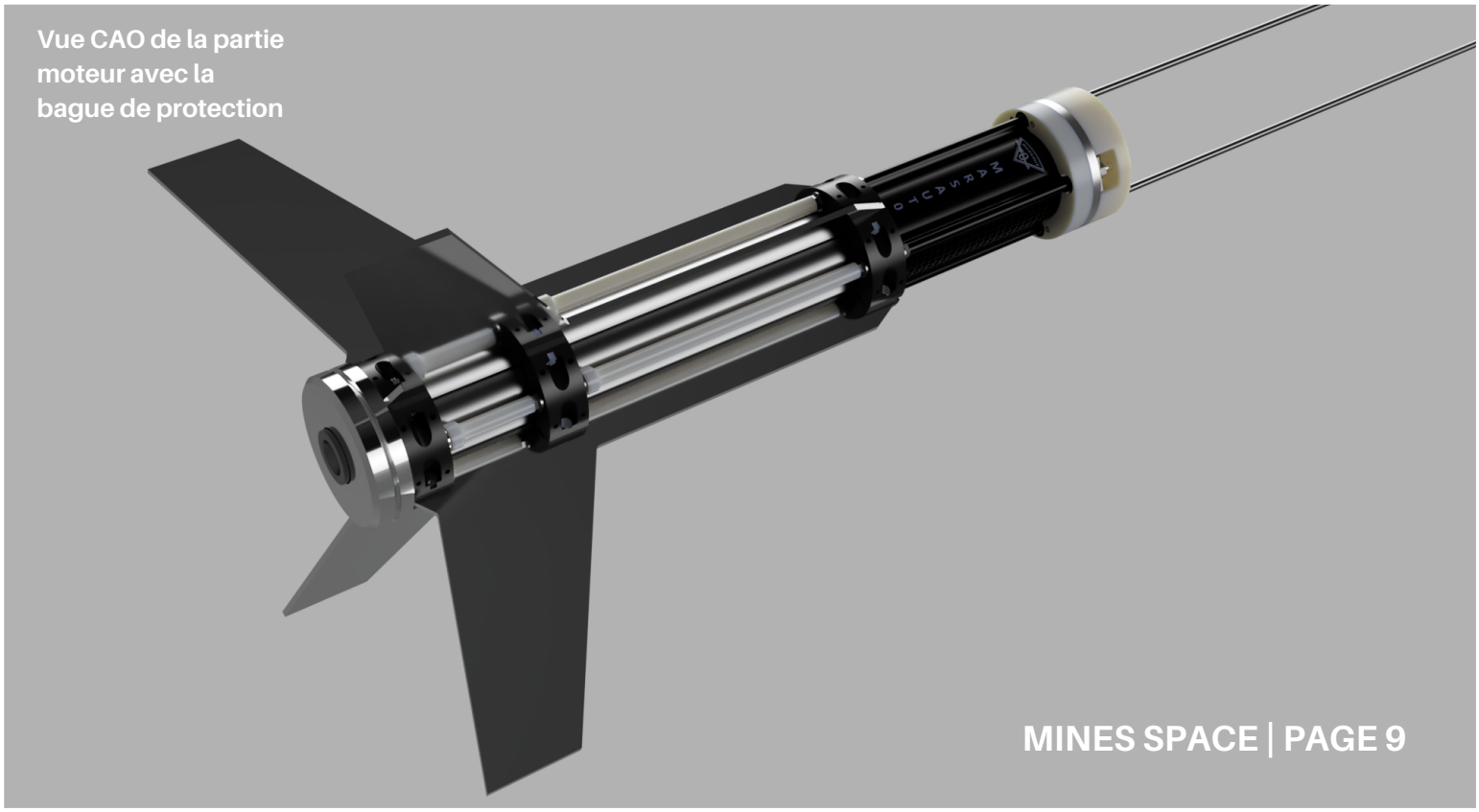
Pour avoir un bilan liaison convenable, nous privilégierons une antenne Yagi de CompleTech, le modèle CA860Y+++, ayant un gain de 11Db, et une bande de fréquence variant de 830 à 890 mHz, parfait pour nos applications actuelles et futures.

Partie IHM :

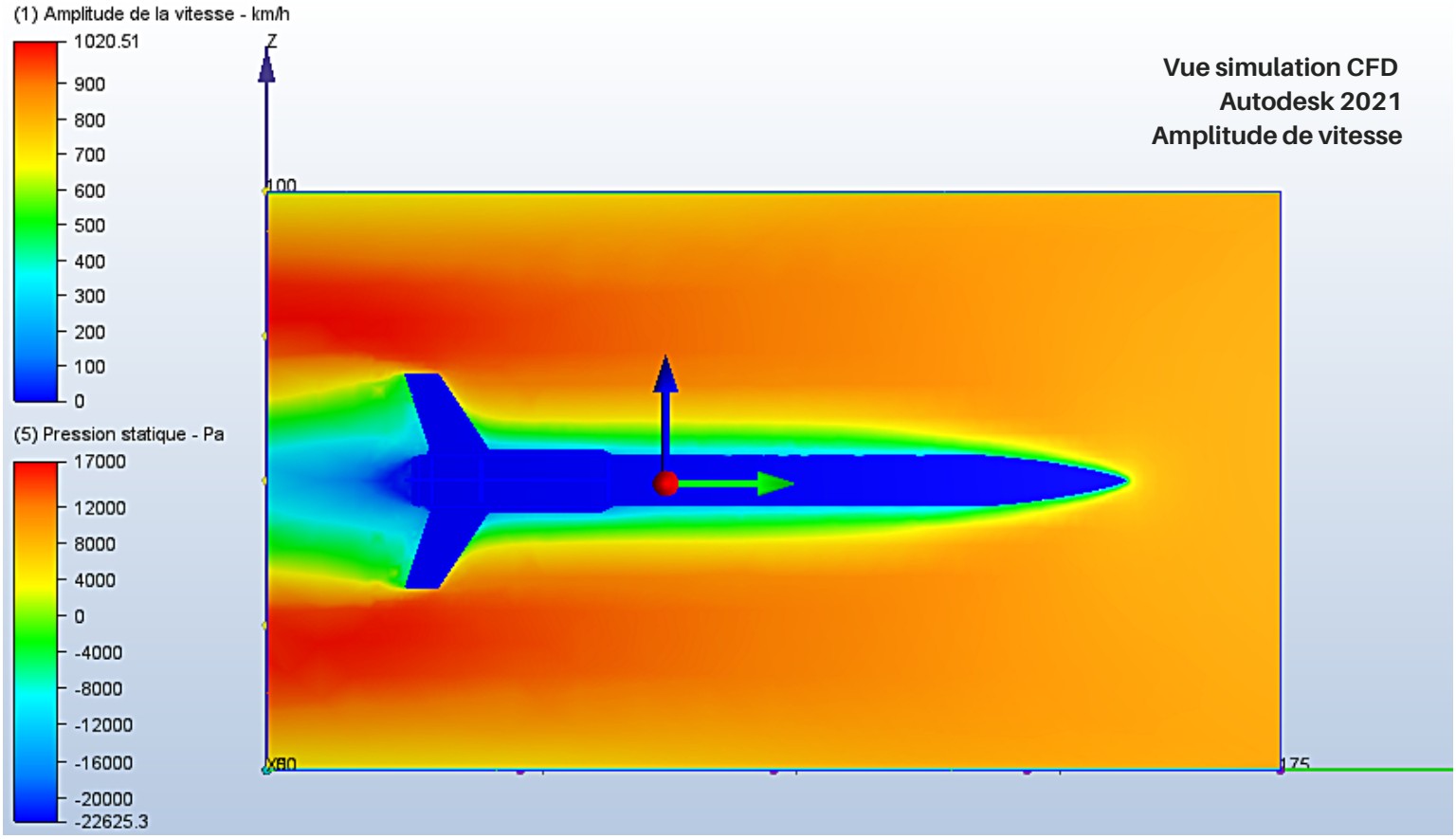
Notre interface graphique sera développée en C++ avec le framework Qt. Il permettra d'afficher les différents paramètres et une visualisation 3D du vol.

Partie métrologique :

Afin d'étalonner et de vérifier nos capteurs, une étude métrologique va être réalisée afin de spécifier les incertitudes sur ces derniers.
Pour chaque capteur, 2 types dIncertitudes seront déterminées : une incertitude de type A et une incertitude de type B. L'incertitude de type A va résulter dUne analyse statistique sur des mesures expérimentales. Pour chaque capteur, nous les étalonnerons sur ensemble de la plage de mesure dans laquelle il devrait fonctionner sur la FUSEX afin de déterminer les incertitudes en chaque point de cette dernière. Tandis que lIncertitude de type B va résulter des différentes incertitudes liées aux conversions des informations (transformation analogique - numérique). Cette incertitude sera calculée grâce aux données constructrices des capteurs utilisés.



Vue CAO de la partie moteur avec la bague de protection



Vue simulation CFD
Autodesk 2021
Amplitude de vitesse

Simulation CFD & Etude Thermique

Pour valider l'ensemble de l'architecture, que ce soit l'électronique, la mécanique ou les dimensions, nous utilisons des outils de simulations nous permettant d'affiner nos modèles. Ainsi nous avons réalisé deux études précises sur notre fusée.

Etude CFD (computational fluid dynamics) :

Pour pouvoir nous assurer que notre fusée n'entraîne aucune trainée résiduelle pouvant provoquer des instabilités non prévisibles par la méthode Barrowman, nous avons réalisé des simulations du comportement du flux d'air autour de notre fusée pour la vitesse maximale rencontré lors du vol.

Ainsi nous avons obtenu en vue de coupe la répartition de l'amplitude de vitesse de l'air et de la pression sur la fusée.

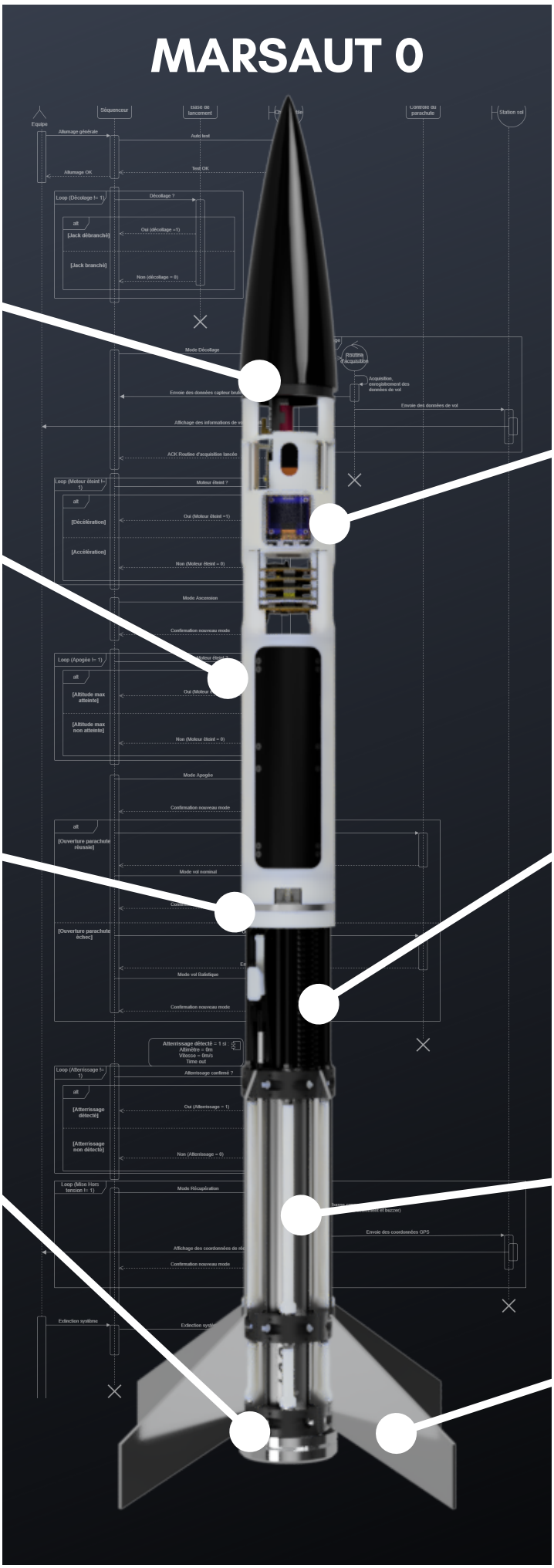
Nous pouvons confirmer qu'à partir de ces simulations, la forme de la fusée n'engendre pas de trainée supplémentaire et que nos estimations de la stabilité sont valables.

Etude thermique :

Une étude thermique de la fusée va également être réalisée afin d'étudier le comportement thermique de cette dernière durant toutes les phases de vol. Cette étude va également permettre de réaliser un modèle thermique de notre fusée. Pour le réaliser, le logiciel de simulation Syrthes sera utilisé. Ce modèle sera par ailleurs validé grâce aux différents capteurs de températures qui seront embarqués dans la fusée.

Ce modèle permettra, entre autre, de mettre en évidence l'influence de la couleur de la fusée sur la température interne de cette dernière.

Plan FUSEX



Coiffe - Antenne
Coiffe fabriquée en PLA ou ABS contenant les deux antennes (GPS et Lora) provenant de la charge utile

Système de Récupération
Partie dédiée au mécanisme pour le déploiement du parachute

Bague de protection & point d'ancrage du parachute
Partie dédiée à protéger et maintenir le lanceur du choc du moteur et du parachute (thermique et mécanique)

Bague verrouillage moteur
Bague permettant de maintenir le moteur en place

Rack électronique
Séquenceur assurant le déclenchement du système de récupération
Charge utile permettant l'envoi en temps réel des différents paramètres de vol de la fusée
Caméra embarquée pour filmer l'ensemble du vol

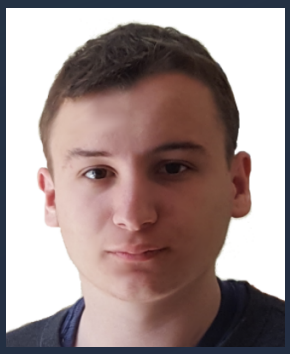
Système Jack repliable et mesure température moteur
Détection du décollage et mesure de la température moteur en vol

Moteur
Propulseur à ergol solide (poudre) délivré et installé par les pyrotechniciens du CNES.
Modèle : Pro 54

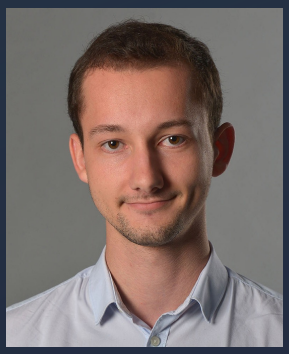
Ailerons
Empennage comprenant 4 ailerons profilés à forme libre.

Rencontrez l'Equipe

LES PERSONNES DERRIÈRE MARSAUT 0



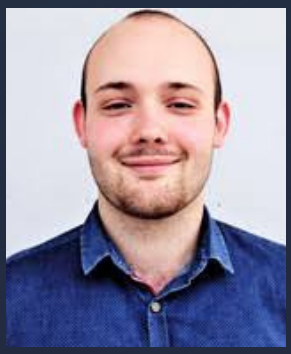
PAUL BOYMOND
APPRENTI ISEE
VALOTEC



QUENTIN BAKRIM
APPRENTI ISEE
MBDA



SIXTINE PENIGUEL
APPRENTIE IVE
GROUPE PSA



PAUL MIAILHE
APPRENTI ISEE
CNES



ARTHUR CHASSANDE
APPRENTI ISEE
SAFRAN

L'équipe de Marsaut 0 est composé de 4 étudiants en formation par apprentissage à l'École des Mines de Saint-Étienne

- ISEE : Ingénieur Systèmes Électroniques embarqués
- IVE : Ingénieur Valorisation Énergétique

Les partenaires:

life.augmented

Planete Sciences
une aventure pour les jeunes

cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

MINES
Saint-Étienne

THALES

CONTACTS

Qui contacter ?

Par mail

Adresse mail du club : **minesspace.asso@gmail.com**
Site Internet du club : **https://minesspace.github.io/**

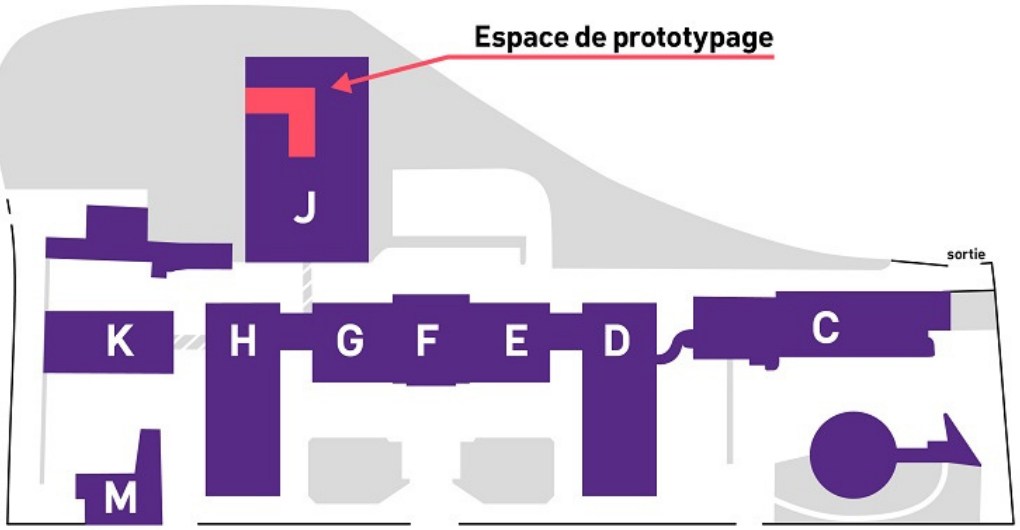
Adresse mail des membres projets :
Etudiant : - paulboymond@gmail.com
- paul.miailhe@gmail.com
- quentin.bakrim@hotmail.fr
- sixtine.peniguel@free.fr
- arthurp.chassande@orange.fr

Par les réseaux sociaux

Mines Space | mines_space | @MinesSpace | mines-space

Où nous trouver ?

Notre quartier général se trouve actuellement au FabLab de l'Ecole des Mines de Saint-Étienne (Cours Fauriel). C'est ici que l'on se retrouve pour organiser des réunions et travailler sur nos projets.



- 158 Cours Fauriel -