



## I- Résultats obtenus lors du C'Space 2018

### a)- Partie mécanique

Comme l'an passé la partie mécanique de la Fusex satisfait au cahier des charges. Une pièce de la case propulseur, dont la fonction première était la reprise de poussée pour une expérience antérieure s'est cependant rompue lors de la qualification du projet. L'équipe en charge du projet l'a donc remplacé par une pièce de substitution.

### b)- Partie informatique

Des parties des programmes de la Fusex ont été modifiés :

- ➔ Le programme de la carte séquenceur a été remanié en utilisant des switch cases de telle sorte que le servomoteur de la trappe parachute soit commandé durant tout le vol.
- ➔ Les autres programmes embarqués n'ont pas eu besoin d'être édités

### c)- Partie électronique

Il s'agit de la partie ayant empêché le vol de la Fusex. La carte d'acquisition de données expérimentale a été intégrée sur place et souffrait de multiples erreurs de conception qui ont dû être corrigées sur place.

Le reste de l'électronique (carte séquenceur, alimentations, solutions de télémétrie et de GPS) était conforme au cahier des charges et fonctionnel.

### d)- Résultats obtenus

La fusex n'a pas été lancée car l'expérience embarquée ne pouvait être réalisée. Nous ne disposons donc pas de résultats expérimentaux à analyser. Cependant la Fusex a été bien avancée au cours de cette année et du C'Space. Nous espérons que cet avancement et la prise d'expérience du projet et de ses membres mènera à un lancement dans les prochaines années.

## II- Suite du projet

### a)- Environnement du projet

Le projet est reconduit au sein du Centrale Lyon Cosmos. Les encadrants du club restent engagés dans ce projet et souhaitent continuer à soutenir l'expérience embarquée. Certains membres de cette année seront disponibles pour permettre à la nouvelle équipe de finir au mieux ce projet.

### b)- Pistes d'améliorations pour un lancement en 2019

Compte tenu des bilans des deux derniers C'Space, le prochain groupe de projet s'attachera à valider les solutions de GPS/Télémétrie et d'électronique qui ont été réalisés jusqu'ici. Une grande attention sera portée sur l'intégration de la Fusex dès la fin 2018 afin de ne pas tomber dans l'écueil des deux dernières équipes.

Les seules grandes modifications à apporter au projet concernent la carte d'acquisition, qu'il faut modifier selon ce qui a été fait lors de la campagne 2018. Seul son convertisseur analogique numérique n'a pas été corrigé et reste donc à déboguer ou à redimensionner.

Si la Fusex est rapidement fonctionnelle des tests en soufflerie pourront être conduits afin de valider le dimensionnement de cette carte et de procéder à son étalonnage avant le C'Space afin d'y garantir des résultats exploitables.



## Fusex 02

### Centrale Transonic Rocket-02

**Membres du projet :** Guilhem Jouhet, Théo Jurain, Ruoyi Ma, Richard Mollo, Arthur Robbe, Thomas Roméro, Nicolas Villedieu de Torcy

**Club Centrale Lyon Cosmos, 2017-2018**

**Résumé :** Le projet CTR-02 s'intéresse à la conception, à la fabrication et au lancement d'une fusée expérimentale Centrale Transonic Rocket - 02. Il est organisé autour d'une expérience soutenue par le LMFA (Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, labellisé CNRS), consiste à mesurer les spectres de pression au niveau de la coiffe en régime transsonique. La fusée est actuellement prête à être lancée pour pouvoir valider le dimensionnement de l'expérience et fournir des premiers résultats au LMFA.





## 1 Introduction

Le projet s'intéresse à la conception, la fabrication, et au lancement d'une fusée expérimentale, nommée CTR-02 pour Centrale Transonic Rocket. Ce projet est commandité par M. David NAVARRO, dans le cadre des Projets d'Application de l'École Centrale de Lyon, en tant que représentant du Centrale Lyon Cosmos, une association Centralienne reconnue d'intérêt pédagogique par cette même école. Les personnes participant au projet et leurs responsabilités respectives sont présentées ci-dessous, de même que l'organisation du projet et les tâches à réaliser.

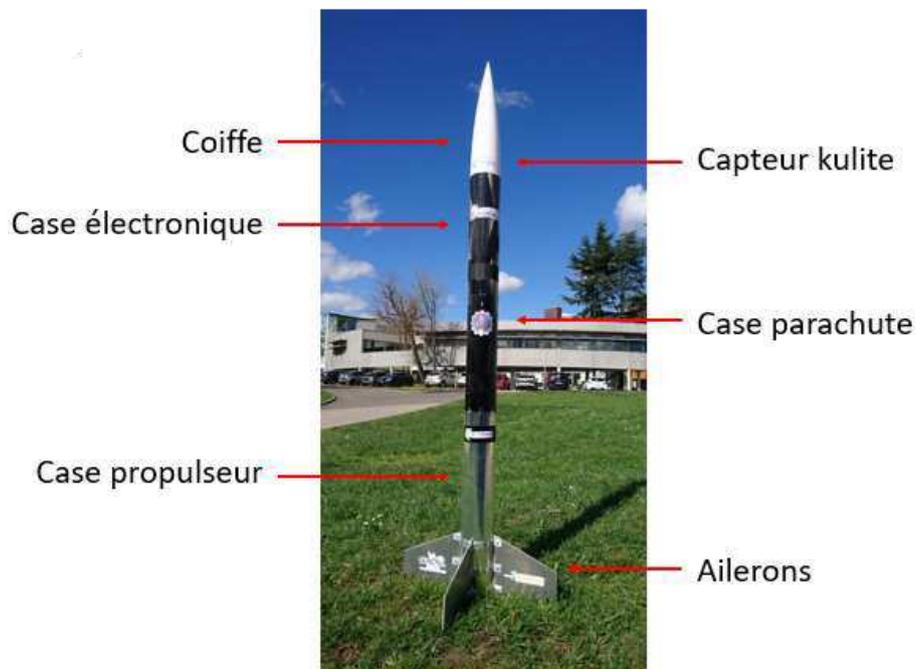
Un peu d'histoire maintenant : le CLC a réalisé en 1996 sa première fusée supersonique *Mip-Mip*, première fusée amateur en composite de France. C'est sur cette base qu'a été commencée en 2016 la deuxième fusée supersonique du club, la Fusée CTR-02, dont la présente équipe travaille à sa finalisation. L'expérience est née d'une volonté d'un chercheur au Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique d'obtenir des mesures du spectre de pression le long d'ogives en régime supersonique.





## 2 Description mécanique

### Aperçu général de la fusée





# Document de fin de projet



La fusée se compose d'un corps en fibre de carbone (aussi appelé peau de la fusée), d'un diamètre de 10 centimètres, d'ailerons en aluminium, d'une coiffe en plastique, et de multiples éléments internes nécessaires au vol (parachute, électronique embarquée, ...).

## Stabtraj



### STABILITO

Stabilité de fusée à ailerons

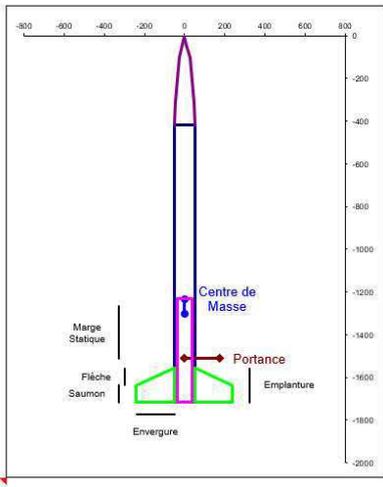
Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	CTR-02
Club	CLC
Type	Fusée expérimentale.
Masse	3064 g sans propu
Centre de Masse	1104 mm sans propu
Longueur totale	1716 mm

Propulseur	
Type	Original (Pro75-3G)
Position du bas	1716 mm

Coiffe	
Forme	Ogivale (pointue)
Hauteur	416 mm
Diamètre	101 mm

Ailerons	
Mono-empennage,	
Emplanture 'm'	160 mm
Saumon 'n'	80 mm
Flèche 'p'	80 mm
Envergure 'E'	190 mm
Epaisseur	3 mm
Nombre	4
Position du bas	1716 mm



14/05/2018	Min	Résultats	Max
Finesse	10	17,0	35
Portance	15	25,6	40
MargeStat.	2 D	2,08 D 2,76 D	6 D
Couple	40	53,3 70,6	100
XCp		1511 mm	
MS /L		12% L 16% L	

STABLE

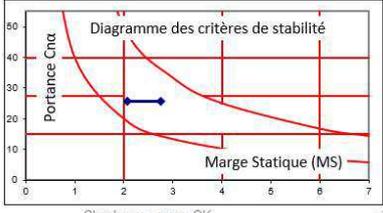
Language/Langue Français

Fusée mono-diamètre,

	Propu plein	Propu vide	Sans propu
Masse propu	3,511 kg	1,638 kg	-
CdM propu	243 mm	243 mm	-
Masse fusée	6,575 kg	4,702 kg	3,064 kg
CdM fusée	1301 mm	1233 mm	1104 mm

	XCp	Cno
Coiffe	194 mm	2,0
Ailerons	1623 mm	23,6



Commentaire libre :

Checksum : propu OK v3.3



### TRAJECTO

Trajectographie de fusée

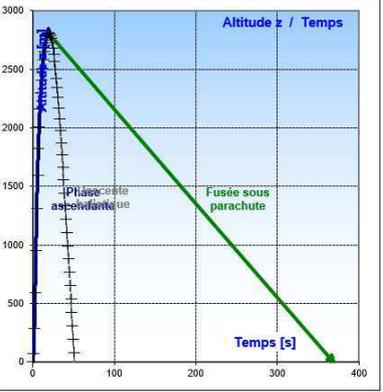
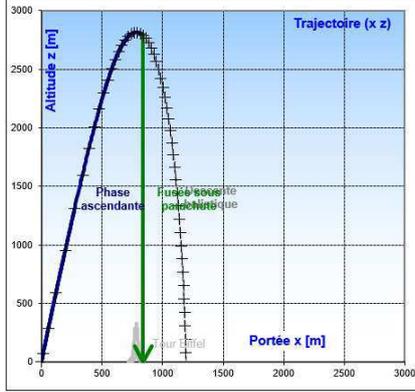
Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	CTR-02
Club	CLC
Masse totale	6,575 kg
Propulseur	Original (Pro75-3G)

Trainée Aérodynamique	
Surface Réf.	0,010292 m²
Cx	0,6

Rampe de Lancement	
Longueur	4 m
Élévation	80 °
Altitude	0 m

Descente Sous Parachute	
Fusée 0 satellite	
Masse	4,702 kg
Dépotage	N/A
Ouverture para	22 s
Surface para	1,16 m²
Cx parachute	1
Vitesse du vent	5 m/s
Vitesse descente	8,1 m/s 12,7 m/s
Durée descente	346 s
Durée du vol	368 s
Déport latéral	± 1731 m



14/05/2018	Temps	Altitude z	Portée x	Vitesse	Accélération	Efforts
Sortie de Rampe				35,0 m/s		
Vit max & Acc max				383 m/s	186 m/s²	
Culmination, Apogée	19,6 s	2816 m	781 m	24 m/s		
Ouverture parachute fusée	22,0 s	2789 m	838 m	32 m/s		744,1 N
Impact balistique	51,8 s		1196 m	112,8 m/s		29907 J

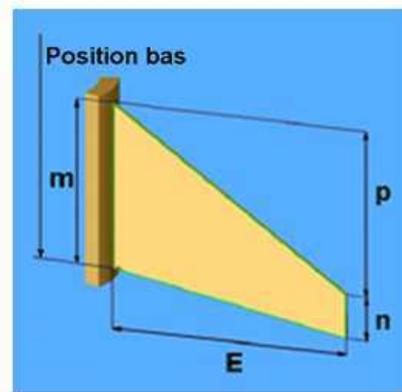
Pour localiser la fusée	
Couleur fuselage/coiffe	Brun/Orange...
Couleur parachute fusée	Rouge...

propu OK

Comme indiqué par les feuilles de Stabtraj, la fusée respecte tous les critères de stabilité et de vitesse en sortie de rampe.



## Forme des ailerons

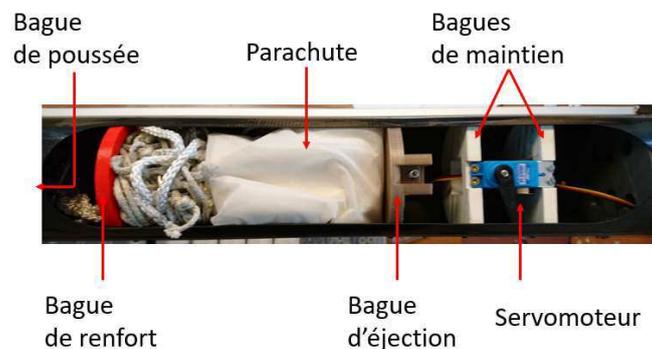


Les ailerons sont réalisés en aluminium, et garantissent la stabilité de la fusée en vol.

## Récupération

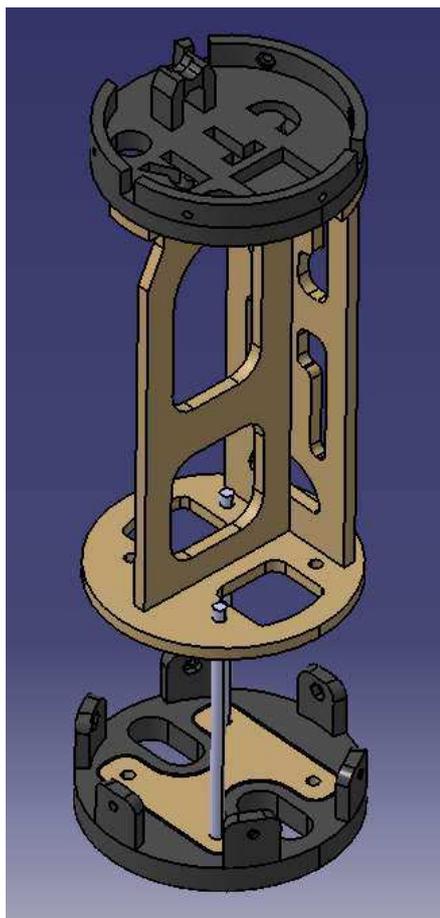
La fusée est récupérée par un parachute d'une surface de  $1,16\text{m}^2$ . Ce parachute est contenu dans la case éponyme. Son fonctionnement est simple : la trappe est munie d'une encoche, dans laquelle vient s'insérer une languette fixée sur l'arbre du servomoteur, permettant de maintenir l'ensemble fermé en phase ascensionnelle. Lors de la descente de la fusée, le servo-moteur pivote, et libère la trappe, qui est éjectée par un ressort monté sur la bague d'éjection (en marron sur la figure 3). Le parachute se déploie alors, en étant rattaché à la fusée par la bague de poussée (bague métallique servant à la reprise de poussée et à l'attache du parachute, maintenue par 16 vis M3 BHC).

Case parachute :



## Case électronique

La case électronique est la structure qui sert de support à toute l'électronique embarquée. Elle doit assurer un lien avec le corps de la fusée et doit être suffisamment robuste pour encaisser les efforts d'accélération au décollage.



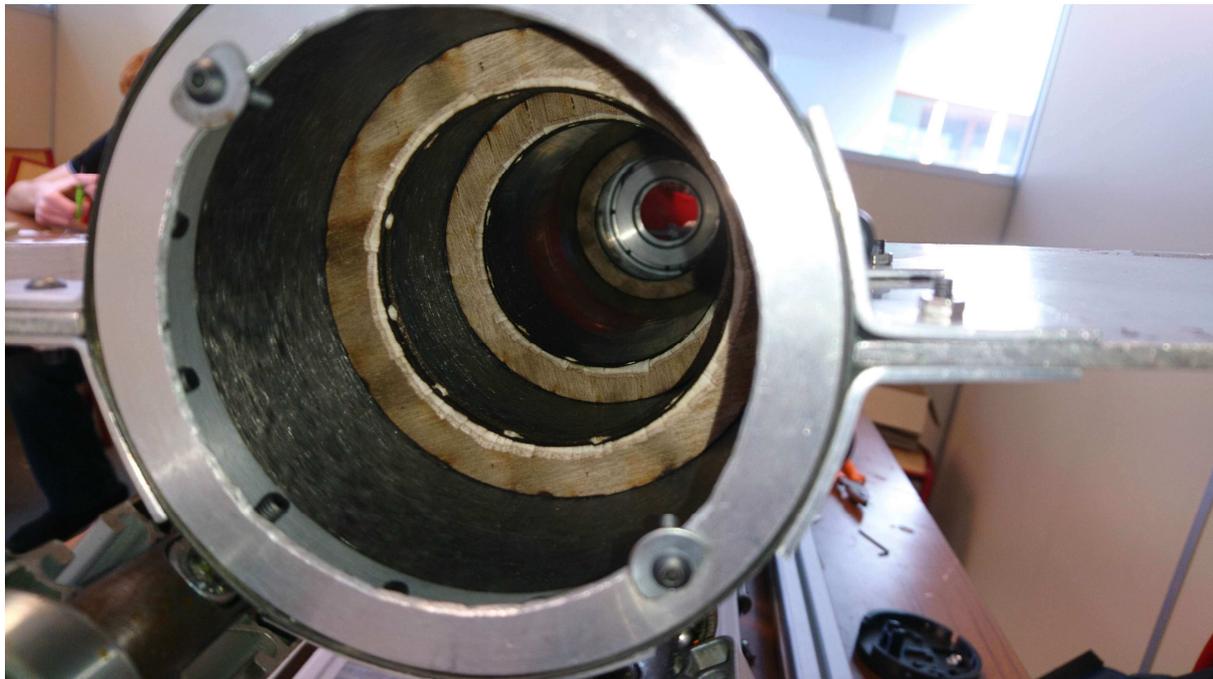
La case électronique est composée de plusieurs pièces qui forment une structure solide pour fixer tous les éléments électroniques essentiels à la fusée et à son expérience embarquée. Cette structure est principalement réalisée en bois contreplaqué pour minimiser son poids (en beige sur la vue d'ensemble). Les éléments s'emboîtent les uns dans les autres et sont évidés au maximum pour gagner en masse. Seules les bagues servant de lien avec le tube de la fusée sont fabriquées par impression 3D (en noir sur la vue d'ensemble). Elles sont vissées sur le corps au moyen de vis et d'écrous. Sur la partie inférieure de la case électrique, des tiges filetées métalliques avec des boulons sont utilisées pour fixer les cartes électroniques circulaires séquenceur et alimentation, récupérées sur les cartes standards du CLC.

La bague de liaison supérieure est située tout en haut du tube. Elle sert à lier la case électronique, le corps mais aussi la coiffe qui vient au-dessus. Elle sert de support à une batterie supplémentaire et surtout au micro Kulite essentiel pour l'expérience. Des trous sont percés pour permettre la liaison entre ces éléments et la case électronique.

La bague servant de fondation à toute la case électronique est fixée au corps à l'aide de vis, de manière à en rester solidaire mais démontable. Des trous permettent de faire passer les câbles électriques servant à alimenter et à commander le servomoteur situé plus bas dans la case parachute.

Le reste de la case électronique reste mobile pour pouvoir manipuler l'électronique plus facilement. Le base de la case électronique est en forme de "H" pour s'insérer dans la bague fondation. Celle-ci sert donc à positionner correctement la case électronique dans le haut de la fusée. La case électronique vient ensuite se fixer grâce à la bague supérieure qui assure le lien avec le tube et la coiffe.

### Case propulseur

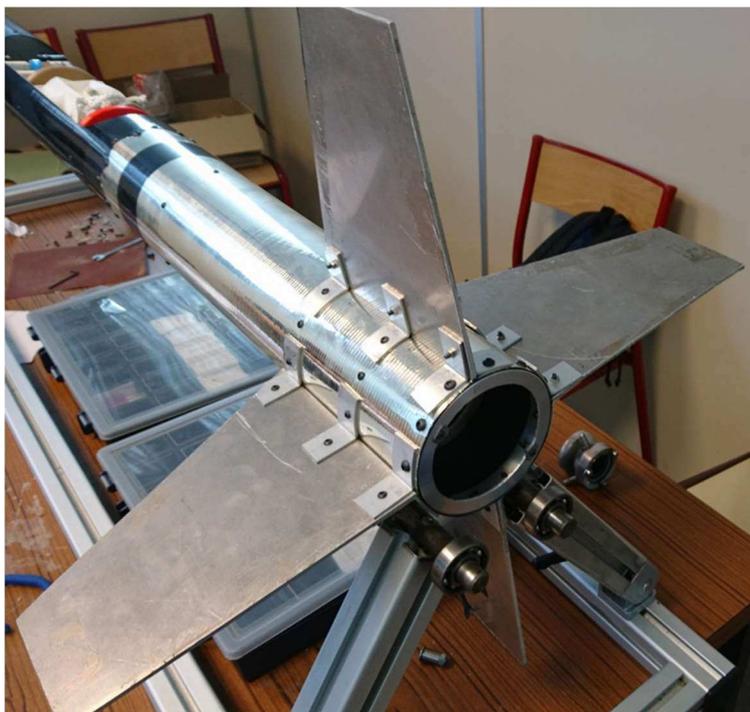


La case propulseur désigne la partie inférieure interne de la fusée, accueillant le propulseur, et les bagues servant à le maintenir. Ces bagues sont au nombre de 5. Elles se composent de :

- la bague de reprise de poussée, aussi appelée bague mixte. Il s'agit d'une bague métallique en deux parties, permettant d'une part de supporter la poussée du propulseur, et de l'autre de la retransmettre à l'ensemble de la fusée à travers une fixation composée de 16 vis standard M3 BHC. Cette bague permet de plus, du fait de sa liaison extrêmement résistante avec le corps de la fusée, d'être le point d'attache du parachute.
- les bagues de centrage, en contreplaqué 10mm, qui assurent la mise en position du propulseur, garantissent également un écart angulaire inférieur à  $1^\circ$  entre le propulseur et la fusée (conformément au cahier des charges de Planète Sciences).
- la bague de culot, permettant de maintenir le propulseur une fois mis en place. Cette bague en métal supporte le propulseur via deux languettes métalliques, fixées par deux vis M4 CHC, une fois encore conformément au cahier des charges de Planète Sciences.



### Fixation des ailerons



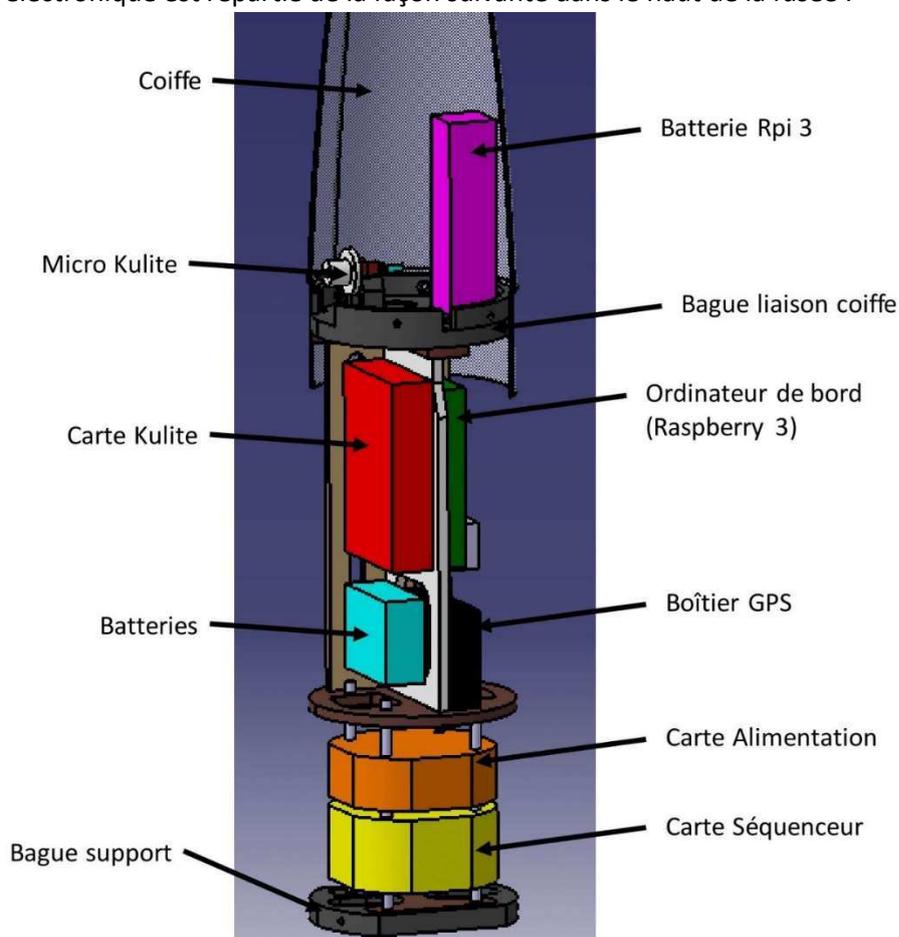
Les attaches en aluminium se composent d'une partie droite, à fixer sur l'aileron, et d'une partie courbée, à fixer sur le corps de la fusée ce qui nécessite que les rayons de courbure soient identiques. Chaque aileron nécessite 6 attaches : 3 points de fixation de chaque côté de l'aileron.

### Éléments de visserie

Les éléments de visserie utilisés dans l'ensemble de la fusée ont pour objectif de respecter l'intégrité de la peau en carbone, en utilisant les diamètres prédéfinis des trous dans le tube. L'ensemble de vis et écrous utilisé a donc été choisi identique à celui de l'année précédente, et ce même pour les nouvelles améliorations effectuées dans la fusée. Celles-ci se composent majoritairement de vis M3 BHC (hexagonales creuses, à tête bombée), afin de minimiser l'impact aérodynamique sur l'extérieur de la fusée, tout en assurant une résistance suffisante aux efforts qui leur seront appliqués, d'après les calculs réalisés l'année précédente.

### 3 Description électronique et informatique

L'électronique est répartie de la façon suivante dans le haut de la fusée :



Une batterie est dédiée uniquement à l'alimentation de la carte Raspberry 3 qui sert d'ordinateur de bord. Tout le reste de l'électronique embarquée est alimentée par une batterie Li-ion placée au milieu de la case électronique reliée à la carte alimentation.

Les cartes Alimentation et Séquenceur sont reliées avec des connecteurs Sub-D, tout comme le Kulite et la carte Kulite. La batterie Rpi3 est reliée en Micro USB à la carte Rpi3. Le reste des éléments électroniques sont reliés par des fils électriques soudés sur les cartes.

La minuterie est gérée par la carte séquenceur, une carte faite selon les standards du club Centrale Lyon Cosmos. Le décollage est détecté via une prise Jack qui se débranche dès le moment où la fusée quitte le sol. A la fin du décompte, la carte envoie un signal au servomoteur qui ouvre alors la trappe parachute.

Les données de mesure du Kulite récupérées et transformées via la carte Kulite sont stockées sur une micro SD dans la Rpi3. Un système de GPS envoie la position de la fusée à tout instant une fois allumé après le décollage.



## 4 Expérience

L'expérience consiste à mesurer les spectres de pression au niveau de la coiffe en régime transsonique. Les données de l'expérience serviront au LMFA pour une première approche dans l'étude de la couche limite d'ogives en mesurant l'interaction entre le choc supersonique et la couche limite de la coiffe. Pour cela, un micro très performant (le Kulite MIC-190) est implanté à la base de la coiffe. Ce capteur mesure le spectre de pression dans la couche limite autour de la coiffe.

Le capteur a été étalonné par le laboratoire avant qu'il nous soit prêté selon les prévisions que le LMFA nous a indiqués, mais nous n'avons pas pu l'étalonner à partir des conditions qui seront effectivement effectuées lors du lancement. En effet, le LMFA n'a aucune donnée sur des vitesses avec un nombre de Mach supérieur à 1 et les ondes de choc générées sont très importantes dans ce cas. Les plages de valeur estimées sont un signal de fréquence 20kHz d'amplitude 10mV en crête à crête, centré sur 0.



L'équipe en charge du projet remercie chaleureusement toutes les personnes l'ayant aidée pendant la durée de ce projet. Plus particulièrement, nous souhaitons remercier M. David NAVARRO, représentant du Centrale Lyon Cosmos pour son soutien indéfectible tout au long de l'année. Nous adressons aussi des remerciements à M. Edouard SALZE du LMFA pour sa confiance en notre projet et pour sa disponibilité. Nous remercions également M. Bernard JEAN, responsable du FabLab, ainsi que toute l'équipe du FabLab de l'École Centrale de Lyon pour leur aide et leur disponibilité tout au long du projet. Nous n'oublions pas M. Christophe Corre du LMFA qui nous a aidés à réaliser les études numériques sous logiciel pour modéliser le vol de la fusée CTR-02. Enfin, nous remercions grandement les entreprises Jet Metal Technologies, Iknova, et Cirly qui nous permettent de mener à bien ce projet grâce à leur implication.