

# Dossier de conception

## Fusée Bételgeuse - Electrolab

Pages dédiées au projet sur le wiki de l'Electrolab :  
<http://wiki.electrolab.fr/Projets:Perso:2017:BetaRocket>

Version 1.3  
Date 15/05/2018

Historique des révisions

Version	Date	Révisé par	Modifications effectuées
1.2	7/4/2018	Zak,Gleison	Retrait des éléments relatifs au contrôle de roulis et guidage du parachute. Mise à jour du diagramme de la section "Plan de Câblage". Mise à jour du diagramme de la section "Le système de trajectométrie".
1.3	15/5/2018	Gleison, Vivien	Mise à jour du système de séparation Mise à jour du système d'alimentation, ancien "Plan de Câblage"

# Dossier de conception 1.3

## *Fusée Bételgeuse - Electrolab*

<b>Chapitre 1 : Généralités</b>	<b>3</b>
1. Présentation du club	3
2. Présentation de l'équipe	3
3. Caractéristiques principales du projet	3
4. Financement & partenaires	4
5. Planification	4
5.1 Planning détaillé du projet :	4
5.2 Répartition des tâches par sous-segment :	4
5.2.1 Deuxième étage:	4
5.2.2 Premier étage:	4
<b>Chapitre 2 : Structure mécanique</b>	<b>5</b>
1. Généralités	5
2. Structure de la fusée	5
<b>Chapitre 3 : Systèmes électroniques embarqués</b>	<b>6</b>
1. Systèmes de récupération :	6
2. Séquenceur principal :	6
3. Système de séparation	6
Définition	6
Structure	7
1er étage	7
2nd étage	9
Fonctionnement	10
Avant séparation	10
Séparation	10
4. Expériences	11
4.1 Le système de trajectométrie	11
4.2 Le système de communication temps réel	12
4.4 Le système de prise de vue	12
4.5 Charges utiles deuxième étage	12
4.5.1 Tube pitot	13
4.5.2 Trajecto	13
5. Système d'alimentation	14
<b>Annexe : Matrice de traçabilité et conformité entre le CAHIER DES CHARGES FUSEES EXPERIMENTALES MONO ETAGE V3.1 et ce dossier de conception</b>	<b>16</b>

# Chapitre 1 : Généralités

## 1. Présentation du club

**Laboratoire, makerspace, atelier, grand garage collectif**, ces termes nous décrivent tous un peu sans toutefois parvenir à être exacts ou exhaustifs. L'Electrolab, c'est avant tout une association à but non lucratif dont l'objet est le partage des connaissances dans le domaine des sciences et des techniques. C'est une communauté de passionnés qui se sont retroussé les manches pour faire leur petit coin de paradis électrique, mécanique, chimique et biologique : un terrain de jeu de 1500m<sup>2</sup> dont on rêvait tous !

**Alpha Rocket, la première fusée de l'Electrolab, a été lancée lors du C'Space de juillet 2017, et a effectué un vol nominal.**

## 2. Présentation de l'équipe

12 membres actifs, qui se sont rencontrés à l'Electrolab :

Gabriel Boisgerault  
Philippe Chauvel  
Nicolas Chuecos  
François Delamotte  
Zakaria ElQotbi  
Aurélien Guy  
Alexis Guillard  
Damien Hartmann  
Mohcine Najm  
Vivien Tranier  
Paul Uttschied  
Gleison Storto

Tous partagent une passion pour l'espace et une envie d'apprendre et de bricoler ! Gabriel et Paul sont étudiants, les autres sont salariés.

Deux charges utiles sont conçues et fabriquées par 6 étudiants en BTS du lycée Jean Perrin à Saint-Ouen-l'Aumône.

## 3. Caractéristiques principales du projet

La charge utile est composée de quatre éléments : le système de trajectométrie du premier étage, le système de communication temps réel et un deuxième étage contenant un tube pitot et un système de trajectométrie.

### Dimensionnement

vitesse longitudinale de 0 à 200 m/s  
vitesse rotationnelle entre -1 et +1 tour/s  
accélération max 100 m/s<sup>2</sup>  
altitude entre 0 et 3000 m  
masse entre 9 et 15 kg  
diamètre extérieur : 100 mm

# Dossier de conception 1.3

## Fusée Bételgeuse - Electrolab

longueur : entre 1700 et 2200 mm

### 4. Financement & partenaires

Financement par les membres de l'équipe.

### 5. Planification

#### 5.1 Planning détaillé du projet :

**Septembre - octobre 2017** : brainstorming des différentes expériences de la fusée

**30 octobre 2017** : figeage au cours d'une réunion des segments.

**Novembre 2017 - Janvier 2018** : conception des segments

**Janvier 2018 - Avril 2018** : conception et fabrication des charges utiles BTS par les élèves du lycée  
Jean Perrin

**Février 2018 - Mai 2018** : fabrication des sous-segments

**Juin 2018** : assemblage, intégration et tests

**Juillet 2018** : lancement pendant la campagne C'Space

**Août - Septembre 2018** : exploitation des résultats et finalisation du compte-rendu de projet.

#### 5.2 Répartition des tâches par sous-segment :

##### 5.2.1 Deuxième étage:

- tubes pitot (coordination BTS) - [Nicolas - Damien](#)
- module de trajecto + GPS + télémétrie sol (coordination BTS) - [Nicolas - Damien](#)
- système de récupération (éjection para + para) - [Philippe - Damien](#)
- système de séparation - [Vivien](#)

##### 5.2.2 Premier étage:

- système de séparation - [Vivien](#)
- système de récupération (séquenceur + éjection para + para) - [Philippe - Damien](#)
- trajectographie + télémétrie : [Electrolab RadioAmateur - Zakaria](#)
- Système de prise de vue - [François - Zakaria](#)
- section avec batteries + connecteurs extérieurs + indicateurs batterie visibles à l'extérieur + faisceaux et connecteurs (+ système de relais central / interrupteurs alternatif) - [Gleison](#)

## Chapitre 2 : Structure mécanique

### 1. Généralités



■	Propulsion
■	Ailerons (incl. antennes)
■	1 <sup>ER</sup> étage
■	Séparation
■	2 <sup>EME</sup> étage
■	Coiffe

Longueur : TBD mm

Diamètre : 100 mm

Matériaux principaux : Aluminium, PLA

### 2. Structure de la fusée

Structure robuste supportée par un tube principal d'aluminium chapeauté par une ogive imprimée en PLA.

La fusée est composée de deux parties.

La partie inférieure consacrée à la propulsion et aux expériences suivantes:

- trajectographie et télémétrie
- prise de vue

La partie supérieure, un second étage inerte, sans de propulsion, composée des expériences définies dans les paragraphes suivants.

Le propulseur est maintenu coaxial à la fusée par 2 anneaux imprimés 3D. La reprise de poussée s'effectue via une bague usinée en aluminium.

**Méthode d'usinage pour assurer l'alignement le plus parfait possible des ailerons ?  
Prévoir peinture / motif sur chaque aileron pour le contrôle visuel depuis le sol.**

Le **plan d'ensemble à ajouter** pour donner un aperçu de la structure mécanique complète.

## Chapitre 3 : Systèmes électroniques embarqués

### 1. Systèmes de récupération :

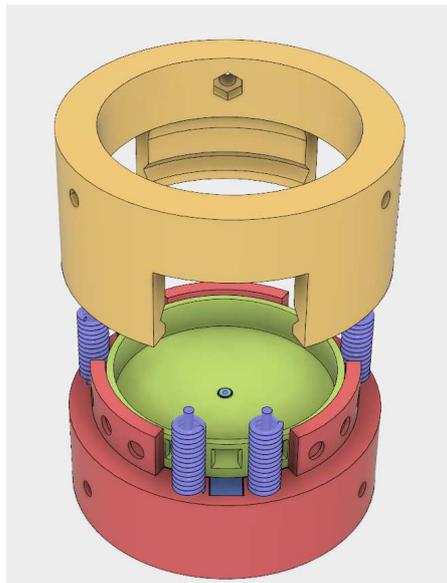
Pour les **premier et deuxième étage**, nous prévoyons un parachute hémisphérique, sur le modèle de celui utilisé avec succès dans l'Alpha Rocket.

### 2. Séquenceur principal :

Nous avons choisi d'utiliser un système basé sur un [LM324](#) largement éprouvé par des Fusex dans le cadre du C'Space, et utilisé avec succès dans l'Alpha Rocket, cf.

[http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/images/e/eb/S%C3%A9quenceur\\_de\\_vol\\_analogique\\_V2.pdf](http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/images/e/eb/S%C3%A9quenceur_de_vol_analogique_V2.pdf).

### 3. Système de séparation



#### Définition

Le système de séparation représente l'ensemble des éléments nécessaire au maintien de la cohérence mécanique entre les deux parties de la fusée durant la phase propulsé et balistique. A un moment  $T_s$ , le système de séparation libère le second étage.

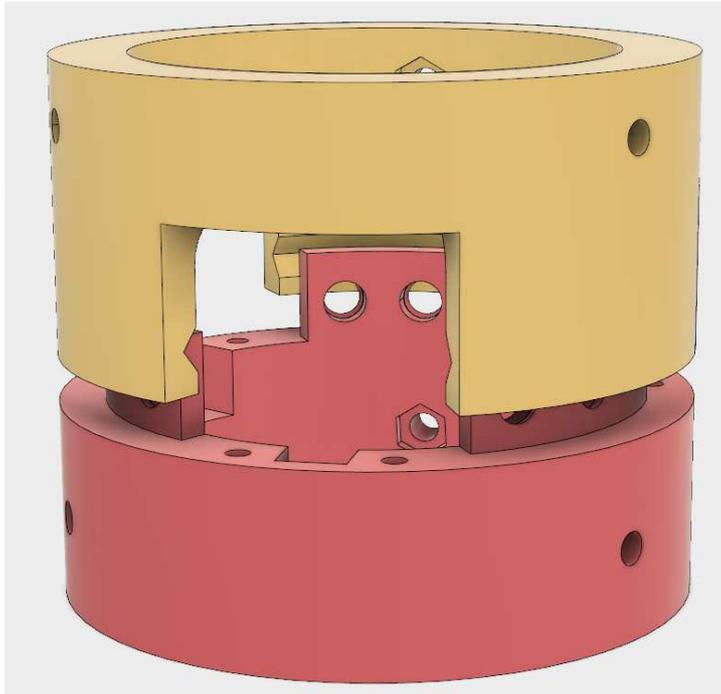
$T_s$  est une valeur fixe relative à la sortie de rampe.

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

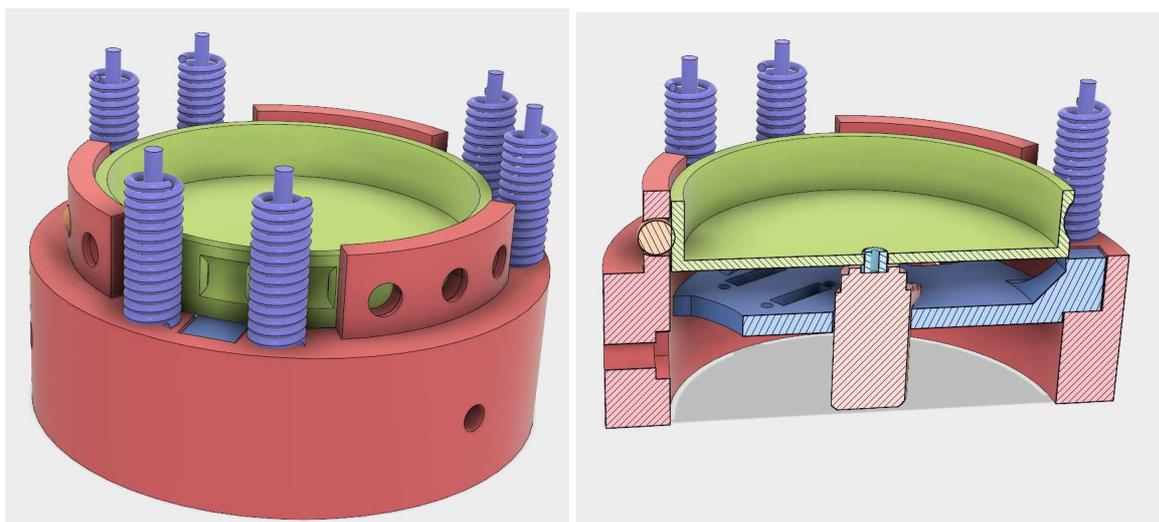
#### Structure

Le système se compose de structures imprimés en 3D qui réalisent la jonction entre les deux étages par un système de fixation "mâle", "femelle" .



Structures imprimées en PHA (Polyhydroxyalcanoate), en rouge la fixation femelle (1er étage) en jaune la fixation mâle (2nd étage)

#### 1er étage

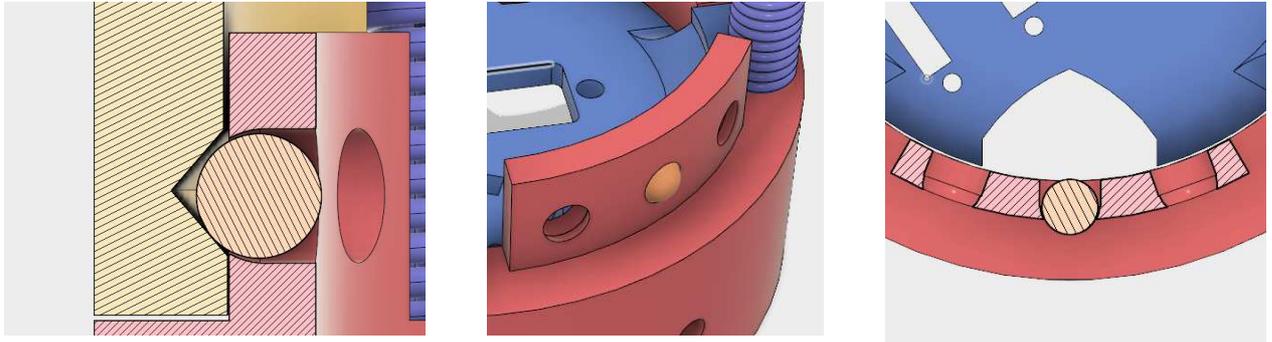


Le premier élément imprimé est solidaire du premier étage. Il fixée à la structure aluminium par 3 vis M5.(en rouge)

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

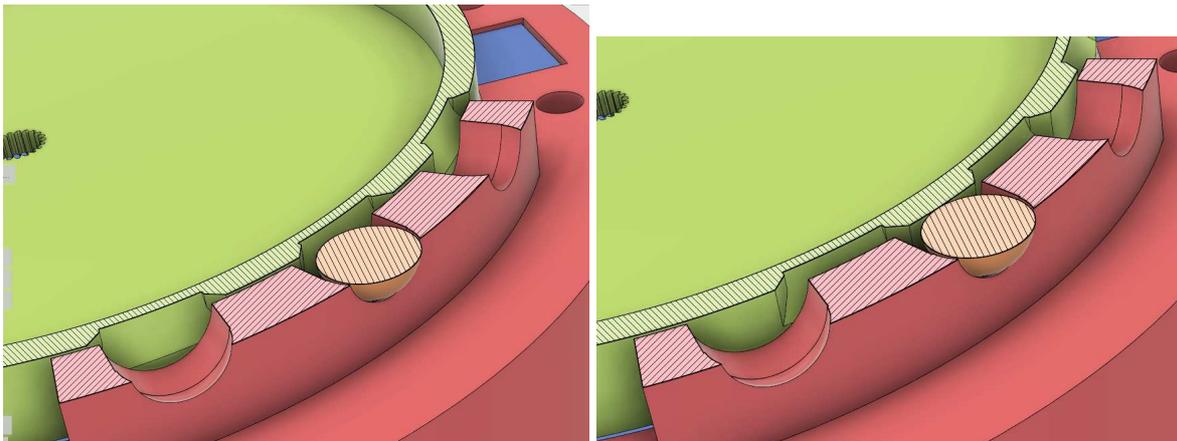
Cet élément est composé outre sa structure principal, de 9 billes réparties en collier qui sont maintenues chacune dans une galeries cylindrique.



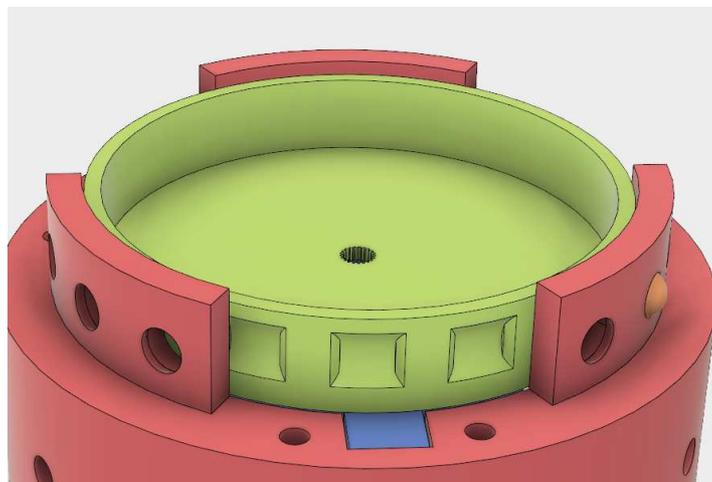
Un anneau imprimé en 3D permet de positionner les billes de deux manières:

- En butées externe sur le support des billes. Avec  $\frac{1}{3}$  du rayon à l'extérieur de la galerie.
- Libre de se déplacer dans la galerie.

Des galeries creusés en miroir de celles du support de billes sur l'anneau permettent d'agrandir l'espace disponible aux billes lorsque les deux galeries se font faces.



Cet action est réalisée par la mise en rotation de l'anneau sur l'axe de la fusée par un servomoteur fixée à la structure principal, sous l'anneau.



## Dossier de conception 1.3

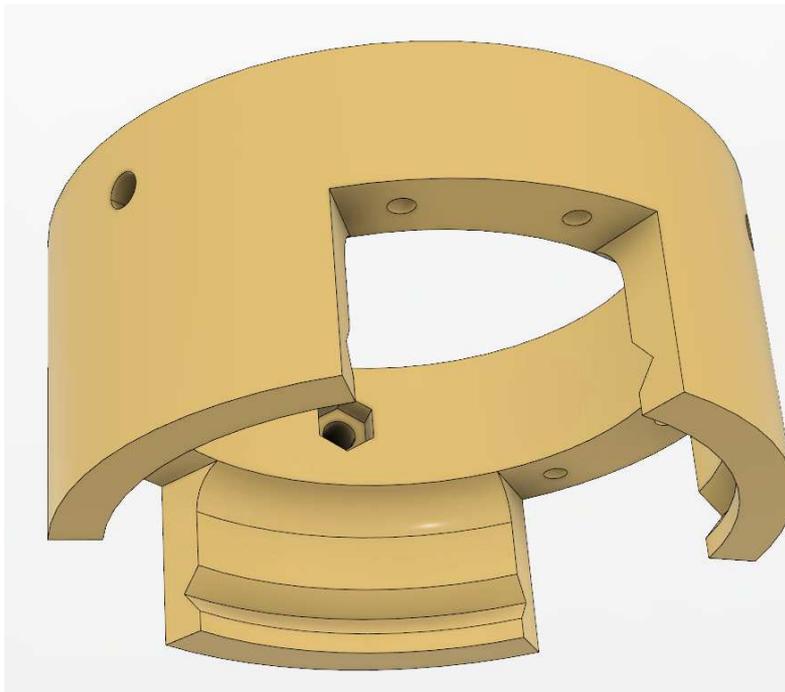
### Fusée Bételgeuse - Electrolab

Trois couples de ressort et douilles sont positionnés en alternance avec les supports de billes.

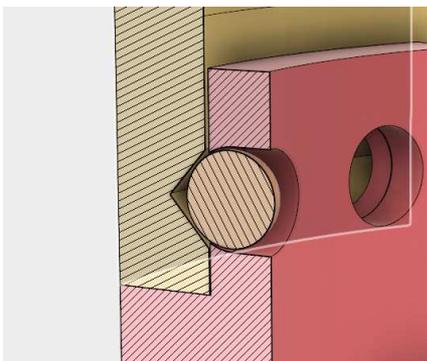
Chaque ressort possède une tension sous charge de 211.82 N assurant lors de leur compression une tension équivalente de 1266 N.

Enfin la structure est également le support de l'électronique de commande, un microcontrôleur.

#### 2nd étage

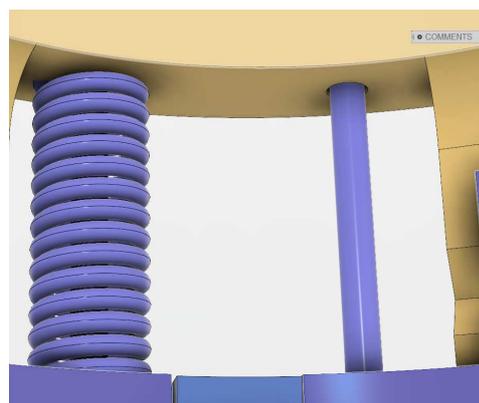


Le second élément est composé d'une structure unique imprimée 3D fixée à la structure aluminium du second étage par 3 vis M5.



Les trois prolongement ou "pincers" sont creusés d'une galeries cylindrique où viennent se positionner l'extrémité des billes de la structure du premier étage.

Six trous sont creusés en alternance avec les "crochets" et viennent accueillir les douilles de maintien des ressorts du premier étage.

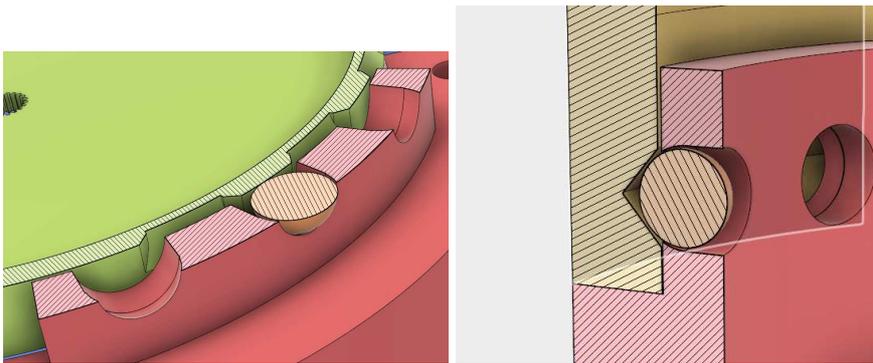


## Fonctionnement

### Avant séparation

L'espace disponibles aux billes placés dans la structures du premier étage est réduite au minimum par l'anneau en position "verrouillés".

Les billes sont donc toutes en butés externes et en contact avec les 3 "pinces" de la structures du second étage.



Les ressort guidés par leur douilles sont compressés contre la structure du second étage et assurent une tension entre les étages.

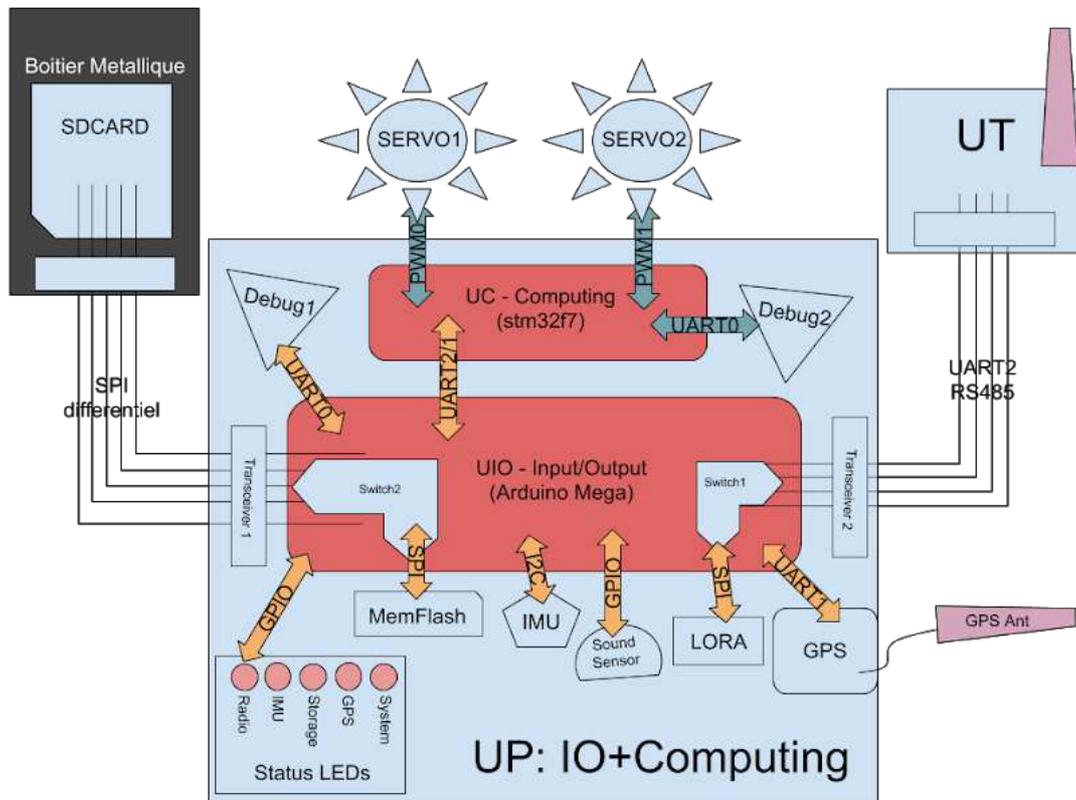
### Séparation

Lorsque le temps  $T_s$  est atteint, le microcontrôleur commande la rotation de l'anneau central.

1. L'espace disponible aux billes est augmentés. Elles peuvent se déplacer dans la galerie.
2. La tension vertical des ressorts met en mouvement les "pinces" qui repoussent les billes vers l'intérieur de la structure.
3. Les billes n'imposent plus de résistance au second étage qui est éjecté par la tension libéré des ressorts.

## 4. Expériences

### 4.1 Le système de trajectométrie



UC: Unite de calcul. UIO: Unite d'entree sortie, US: Unite de Stockage. UT: Unite de Telemetrie

### Specification:

1. Séparation physique entre UP, UT et UC.
2. Distance entre les modules peut aller jusqu'à 2m.
3. Module UT doit être remplaçable facilement.
4. Robustesse à l'arrêt intempestif de signal vers US.
5. Tolérance à une accélération maximale de 20g.
6. Tolérance au vibration (TBD).
7. Tolérance à des température basse jusqu'à -50 C.
8. La carte doit être positionné à la verticale. Et sa largeur ne doit pas dépasser 900mm.
9. La carte doit supporter un voltage variable entre 5 et 12v.
10. Les batteries doivent être dissociés du système pour éliminer les contraintes des forces physique sur la carte.
11. Le module UT doit envoyer les trames a une frequences fixe. (même des trames vides en cas d'absence de données utiles).
12. Le switch1 permet de sélectionner le module radio (interne par Lora ou externe sur rs485).
13. Le switch2 permet de sélectionner par le module Stockage (interne sur mémoire flash ou externe sur SDCARD).

## **Dossier de conception 1.3**

### **Fusée Bételgeuse - Electrolab**

Pour sécuriser la récupération des données, un deuxième module de stockage va être branché sur la carte principale.

Les cartes et les batteries vont être dissociées pour réduire les contraintes des forces physiques.

#### **4.2 Le système de communication temps réel**

Le module radio sera fourni par les radio amateurs de l'electrolab, opérant sur la plage de fréquence 435Mhz, basé sur une modulation GFSK et assurant un débit maximal de 4kbps. La puissance d'émission de module sera réglable et peut éteindre 100mW.

L'interface avec le module de trajectographie sera sur RS485.

La station au sol sera principalement basée sur du SDR.

-

#### **4.4 Le système de prise de vue**

La prise de vue sera réalisée par un système composé d'un:

- Raspberry pi Zero W
- Caméra HD

Le couple **RPI caméra** sera placé en différents points clés de la fusée:

- Dans le second étage au niveau de la séparation des deux étages.
- Dans le premier étage, au dessus du système de roulis permettant de visionner ce dernier et la partie inférieure de la fusée.

L'enregistrement est fait sur le support flash du Raspberry Pi.

Une télétransmission de la prise de vue du système de roulis est envisagée et va faire l'objet d'une expérience supplémentaire.

**Ajouter photo**

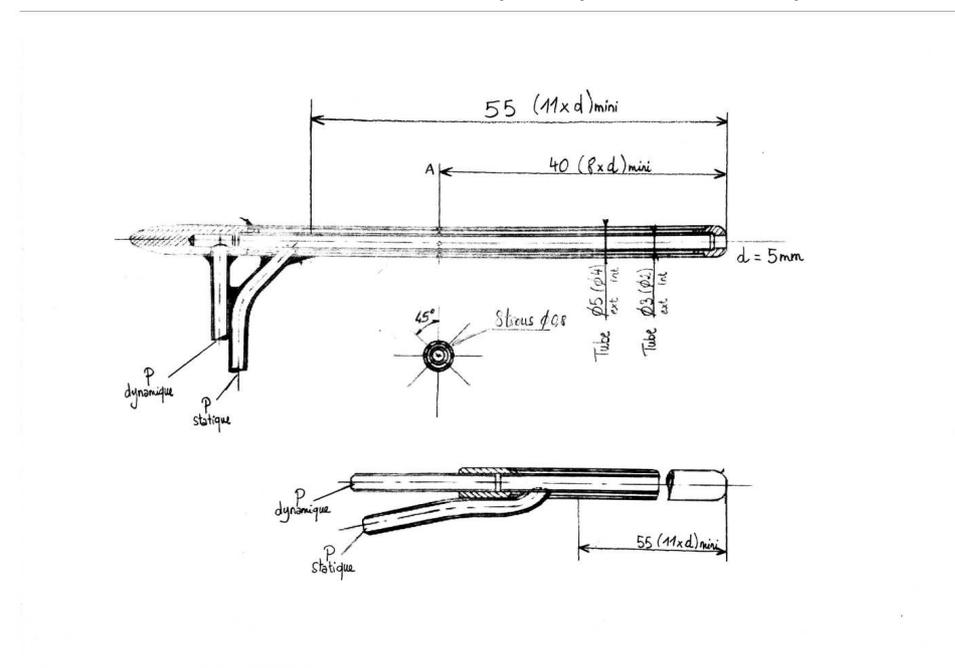
#### **4.5 Charges utiles deuxième étage**

Ces charges utiles sont réalisées par des élèves de BTS du lycée Jean Perrin à Saint-Ouen-l'Aumône (95).

## Dossier de conception 1.3 Fusée Bételgeuse - Electrolab

### 4.5.1 Tube pitot

Ci-dessous le schéma du tube de pitot qui sera embarqué.



### 4.5.2 Trajecto

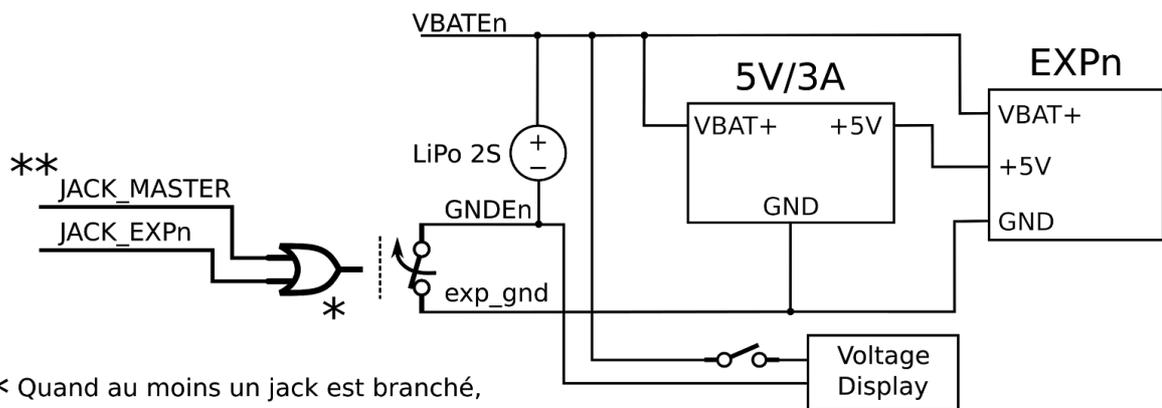
Voir document annexe *Projet\_FabLab\_Arduino.doc*

## 5. Système d'alimentation

L'architecture électrique repose sur le concept suivant :

- Isolation totale entre chaque expérience
- Une façade est prévu pour avoir accès pour chaque sous-système:
  - Interrupteur général (JACK\_MASTER)
  - Interrupteur pour chaque expérience (JACK\_EXPn).
  - Affichage tension de batterie
  - Signalisation d'expérience allumée par voyant LED
  - Connecteur de charge

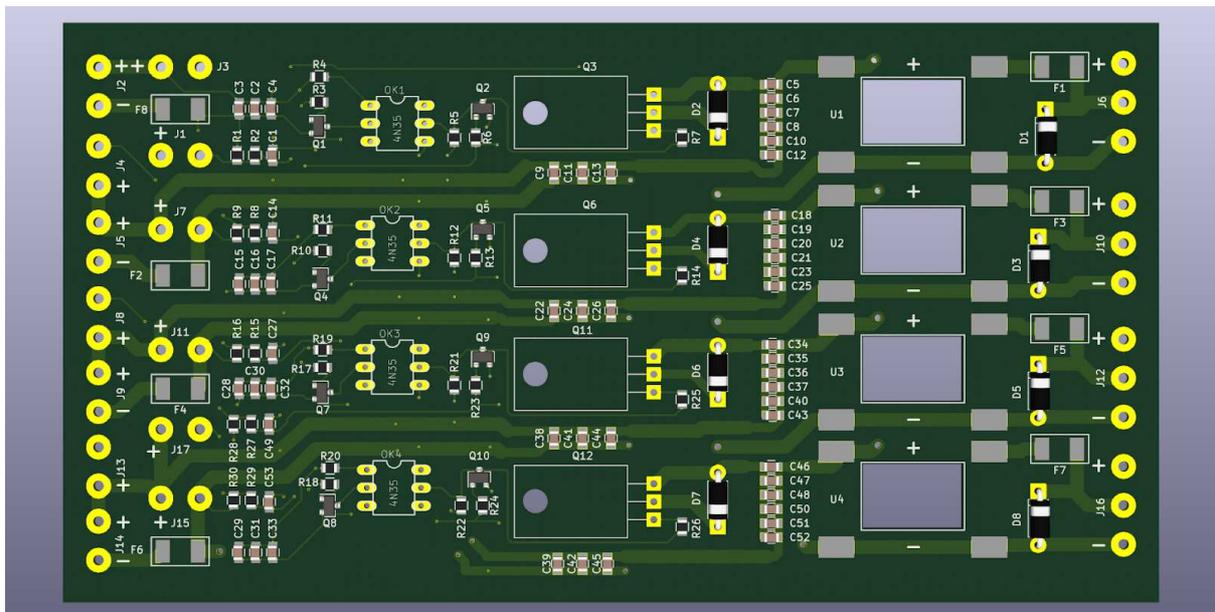
Le diagramme suivant illustre l'alimentation et contrôle de chaque expérience :



\* Quand au moins un jack est branché, l'interrupteur s'ouvre

\*\* Le JACK\_MASTER n'est pas présent sur le circuit du séquenceur

Le système d'alimentation est implémenté par la carte suivante :



## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

Les batteries, jacks et displays d'affichage sont connectés à gauche. La partie droite fournit pour chaque expérience la tension de la batterie et une sortie 5V/3A.

Les batteries utilisées par les expériences :

- 1S2P 2000mAh pour la carte d'alimentation
- 2S1P 1800mAh pour le système de télémétrie
- 3S1P 1500mAh pour le système de séparation
- 2S1P 1800mAh pour le système de guidage et vidéo

Batterie pour le séquenceur, isolée de la carte d'alimentation :

- 3S1P 1500mAh

Connecteurs de puissance :



Expériences alimentées exclusivement par +5V



Expériences alimentées par +VBAT et +5V

Annexe : Matrice de traçabilité et conformité entre  
le CAHIER DES CHARGES FUSEES  
EXPERIMENTALES MONO ETAGE V3.1 et ce  
dossier de conception

FUSEX/CDC/1/CNES-PLASCI/V3.1

Acronymes :

C Conforme

NA Non Applicable

NC Non Conforme

PC Partiellement Conforme

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

N°	Ref. de la spec.	Ref. §  CAHIER CHARGES	Texte specification	Ref. § dossier conception	Confirmité	Comment
1	CHRON O1	9.3	Le club doit établir assez tôt une « check-list » très détaillée, présentée chronologiquement, de la mise en oeuvre de la fusée.	1.5	C	
2	CHRON O2	9.3	Un vol simulé du projet aura lieu lorsque tous les autres contrôles auront été validés afin de vérifier le fonctionnement de tous les sous-systèmes, leur impact éventuel sur la récupération et la compatibilité du projet avec les opérations.		NC	
3	CP1	9.2	Le propulseur doit entraîner la fusée en reprenant la poussée soit par le haut, soit par le bas.	2.2	C	
4	CP2	9.2	Les propulseurs doivent être guidés par la partie cylindrique du casing.	2.2		
5	CP3	9.2	Les rétreints équipant les fusées ne doivent pas couvrir la bague inférieure des propulseurs pour laisser l'accès et le dégagement nécessaire aux opérations pyrotechniques.	2.2		
6	CP4	9.2	Les propulseurs doivent être maintenus avec au moins 1 système de retenue chacun, fixée de préférence à l'aide d'une vis de 4mm à 6 pans creux (dite aussi « Allen » ou « BTR »).			
7	CP5	9.2	Le défaut d'alignement entre le propulseur et le corps de la fusée doit être inférieur à 1°.			
8	CR1	9.1	La fusée doit être compatible avec au moins une des 4 rampes dont les caractéristiques figurent ci-dessous : Rampes longueur maxi (mm) Æ mini (mm) Æ maxi (mm) envergure maxi (mm) largeur patin (mm) masse maxi de la fusée (kg) nombre d'ailerons IDEFIX 2000 40 60 260 20 5 4 ASTERIX 4000 40 130 370 20 25 4 OBELIX 4000 40 160 370 20 25 4 MENHIR 4000 90 200 720 20 80 4 TOUTATIS - cage 5000 40 200 800 10 20 4 TOUTATIS - rail 5000 ou 7000 Sans objet Sans objet 600 Cf. Figure 20 20 3 ou 4 NB : La longueur maxi s'entend hors antenne. Cette règle est sans objet si le club fournit sa rampe de lancement ; dans ce cas, le club doit prévenir dès la revue de définition PLANETE SCIENCES, qui examinera le dossier technique de la rampe.			
9	CR2	9.2	Sauf utilisation d'une rampe rail, les zones devant être accessibles (interrupteurs, voyants, prise d'initialisation, ...) doivent se trouver à ± 20° dans l'alignement des ailerons.			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

10	CR3	9.3	D'éventuels éléments éjectés doivent se trouver dans une zone accessible autre que celle de signalisation ou de mise en oeuvre.			
11	CR4	9.4	La fusée doit être prévue pour être introduite horizontalement dans la rampe.	2.2		
12	CR5	9.5	Angle des cordons arrachables : 5 à 30°.			
13	CR6	9.6	Les interrupteurs de mise en oeuvre doivent être accessibles de l'extérieur de la fusée, sans démontage.			
14	CR7	9.7	Sauf utilisation d'une rampe rail, en rampe, le diamètre extérieur de la fusée devra être le même tout au long de la fusée entre le bas du cône et le bas du moteur. Donc si la fusée a une jupe ou un rétreint, le club devra prévoir des coquilles pour supprimer la différence de diamètre extérieur lors du glissement dans la rampe. Ces coquilles ne doivent pas masquer le bord d'attaque des ailerons. Dans le cas de l'utilisation d'une rampe rail, les patins doivent être de longueurs adéquates pour que l'axe de la fusée soit parallèle à l'axe du rail.			
15	CR8	9.8	Dans le cas de l'utilisation d'une rampe rail : la fusée doit être équipée de deux patins alignés, et disposés à égales distances de deux ailerons, permettant de guider la fusée le long du rail. Les patins devront résister aux efforts transverses. Les efforts sont déterminés de manière suivante : $F_{totale} = F_{propulsion} + F_{aero}$ Où Cahier des charges fusées expérimentales mono étage FUSEX/CDC/1/CNES-PLASCI/V3.1 Cahier CNES-PLANETE-SCIENCES Page 95/129 $F_{propulsion} = Poussée\ Max * \sin(2^\circ)$ $F_{aero} = 0.5 * r_0 * C_x * S * V^2$ ( $C_x = 1$ , $S = S_{corps} + S_{aileron}$ , $V = 10\ m/s$ )			
16	DEF1	3.2.1	Le club doit choisir les maillons de la chaîne de mesure (capteurs, conditionneurs, codeurs, ...) à partir des performances requises.			
17	DEF2	3.2.1	Le club doit prévoir les méthodes d'étalonnage des différentes voies de mesure.			
18	EXP1	13	L'expérience devra faire l'objet d'un compte-rendu détaillé.			
19	INI1	5.2	Les accéléro-contacts utilisés pour détecter le décollage de la fusée et dont la masselotte se verrouille mécaniquement une fois le seuil à détecter dépassé, ou basés sur la déformation irréversible d'un matériau, sont interdits.	2.3	C	
20	IRIG1	3.2.2 .1	Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de télémétrie : capteur, conditionneur, VCO, multiplexeur, émetteur (voir Figure 2).			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

21	IRIG2	3.2.2 .1	L'excursion en fréquence sur chaque voie IRIG doit être de $\pm 20\%$ .			
22	IRIG3	3.2.2 .1	Les fréquences centrales des bandes IRIG utilisées doivent correspondre au tableau suivant : Fmin Fcentrale Fmax BPmax Voie 1 320 Hz 400 Hz 480 Hz 48 Hz Voie 2 1040 Hz 1300 Hz 1560 Hz 260 Hz Voie 3 3200 Hz 4000 Hz 4800 Hz 800 Hz Voie 4 10400 Hz 13000 Hz 15600 Hz 2600			
23	IRIG4	3.2.2 .1	Dans le cas de l'utilisation de plusieurs canaux IRIG, ils doivent tous avoir la même amplitude à $\pm 10\%$ près.			
24	LOC1	6.0.1	La bande de fréquence 136-138 MHz ne doit pas être utilisée.			
25	LOC2	6.0.1	La fréquence et la puissance utilisées doivent respecter la réglementation internationale des télécommunications. Elles devront être indiquées dans le dossier de conception. Le système doit par ailleurs vérifier les règles TEL5, 6, 7, 8, 9 et 10.			
26	LOC3	6.0.2	Les fumigènes et les traceurs ne doivent pas rejeter de corps toxiques ou incandescents. Si besoin est, ils doivent être équipés de crépines.		NA	
27	MEC1	4.1	Flèche La flèche statique doit être inférieure ou égale à 1 % (10 mm/m). La flèche dynamique doit être inférieure ou égale à 1% par rapport à la position à vide (flèche statique). Les mesures doivent être prises sur le banc de test disponible quel que soit le propulseur utilisé par le club.			
28	MEC2	4.1	Tenue en compression : Chaque élément de la fusée doit pouvoir supporter une compression équivalente à $F = 2 \times \text{Accélération Max} \times M_{\text{sup}}$ (en NEWTON) où $M_{\text{sup}}$ est la masse de la partie supérieure (numériquement la masse en kg et l'accélération en $m/s^2$ donnent F en Newton). Particulièrement, la bague de reprise de la poussée doit résister à deux fois l'accélération maximale du propulseur.			
29	MEC3	4.1	Résistance longitudinale des ailerons : Les ailerons doivent pouvoir supporter une force longitudinale de : $F = (2 \times \text{Masse d'un aileron} \times \text{Accélération Max}) + (0,02 \times \text{Surface d'un aileron} \times V_{\text{max}}^2 \times \text{Coefficient de traînée})$ Numériquement la masse en kg et l'accélération en $m/s^2$ ; le produit $0,5 \times \text{masse volumique de l'air en } kg/m^3$ , la surface en $m^2$ et la vitesse en $m/s$ donnent une force en Newton. Le coefficient de traînée sera pris à 0,6.			
30	MEC4	4.1	Résistance transversale des ailerons : Une force $F = 0,1 \times \text{Surface d'un aileron} \times V_{\text{max}}^2$ (en NEWTON) doit entraîner une flèche transversale des ailerons inférieure à $10^\circ$ (la surface en $m^2$ et la vitesse en $m/s$ ).			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

31	MEC5	4.1	Alignements des ailerons par rapport à l'axe longitudinal de la fusée < 1°	2.2	PC	
32	MEC6	4.1	Angle entre deux ailerons consécutifs : 90° ± 10° (fusex à 4 ailerons) ou 120° ± 10° (fusex à 3 ailerons).			
33	MEC7	4.1	Tenue en traction : La fusée doit rester intègre quand elle est soulevée verticalement par l'ogive les ailerons vers le bas et par les ailerons l'ogive vers le bas.			
34	MEC8	4.1	Dans le cas d'une fusée à deux jeux d'ailerons, les deux jeux d'ailerons sont soumis aux règles MEC3, 4, 5 et 6.			
35	MEC9	4.1	La tenue mécanique de tous les éléments de la fusée doit leur permettre de fonctionner correctement lorsqu'ils sont soumis aux perturbations du vol (accélération, vibrations, ...).			
36	MES1	3.2.2 .1	Toutes les voies de mesure doivent être étalonnées.			
37	MES2	3.2.1 3.2.2 .1  3.2.2 .2 3.2.2 .3 3.2.3	La chaîne de mesure globale doit avoir une autonomie d'au moins 1 heure pour l'électronique allumée en rampe et au moins 3 heures pour le reste.			
38	METH1	3.1	Le club doit indiquer les paramètres effectivement mesurés.	3.4	PC	
39	METH2	3.1	Le club doit établir les fonctions de conversion (entre les paramètres que l'on souhaite mesurer et ceux que l'on mesure effectivement).			
40	METH3	3.1	Le club doit évaluer les erreurs de mesure.			
41	METH4	3.1 11.1	Le club doit établir, dès le début du projet, la manière d'exploiter les résultats de l'expérience. Il doit notamment définir la méthode de décodage des télémessures ainsi que la manière dont il va les exploiter, et prévoir les résultats qu'il doit obtenir.			
42	OBJ1	3.1	Le club doit définir les buts de l'expérience.	3.4	C	
43	OBJ2	3.1	Le club doit déterminer les paramètres à étudier.			
44	OBJ3	3.1	Le club doit fixer les gammes de mesures et les précisions requises.			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

45	QUAL1	7	Le club doit établir pour la RCE2 un planning détaillé de son projet allant jusqu'à l'exploitation des résultats. Il doit également répartir les tâches entre les différents participants au projet.	5	PC	
46	QUAL2	7	Le club doit réaliser les plans mécaniques de chaque pièce ainsi que de l'intégration.			
47	QUAL3	7	Le club doit réaliser les plans d'intégration de l'ensemble des éléments de la fusée.			
48	QUAL4	7	Le club doit réaliser les plans de câblage électrique.	3.5		
49	QUAL5	7	Le club doit disposer de la documentation technique de l'ensemble des composants électriques et électroniques qu'il utilise.		PC	
50	QUAL6	7	Le club doit fournir lors de la RCE2 un dossier de conception.	1	C	
51	REC1	5.1	La fusée doit être équipée d'un système ralentisseur fiable permettant de réduire sa vitesse de descente. L'éjection du ralentisseur doit être franche.	3.1	PC	"+ système de rep li"
52	REC10	5.5	Le ralentisseur doit être suffisamment solide pour résister au choc à l'ouverture.			
53	REC11	5.5	Dans le cas de l'utilisation d'un parachute, celui-ci doit être équipé d'un anneau anti-torche (également appelé glisseur). Voir Figure 13.			
58	REC2	5.1	Le système ralentisseur de la fusée et de tout autre élément éjecté doit permettre une arrivée au sol à une vitesse verticale de moins de 15 m/s et de plus de 5m/s.			
59	REC3	5.1	L'instant de déploiement du système ralentisseur doit être compatible avec l'expérience menée par le club.			
60	REC4	5.4.1	La fusée doit être équipée d'un dispositif qui permet, au sol, lors de la séparation transversale : Ø de dégager l'emboîtement des deux parties de la fusée, en soulevant le poids de la partie supérieure ; Ø si le parachute est contenu dans des coquilles, de faire sortir les coquilles contenant le parachute d'au moins la moitié de leur longueur.			
61	REC5	5.4.2	La case contenant le système de récupération doit rester opérationnelle lorsqu'elle supporte en compression longitudinale une force : $F = 2 \cdot \text{Accélération Max} \cdot M_{sup}$ où $M_{sup}$ est la masse de la partie supérieure (numériquement l'accélération en			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

			m/s2 et la masse en kg donnent F en Newton).			
62	REC6	5.4.2	En position fermée, la porte latérale ne doit pas dépasser du profil de la fusée.			
63	REC7	5.4.2	La porte ne doit pas s'ouvrir ou se bloquer lorsqu'on applique un couple de torsion de 1 N.m entre le haut et le bas de la fusée.			
64	REC8	5.4.3	L'accélération et les vibrations de la fusée ne doivent pas modifier le fonctionnement du système de récupération			
65	REC9	5.4.3	Les systèmes de récupérations utilisés doivent auparavant avoir été testés positivement sur une minifusée.			
66	SECU1	10.1	Tout système actif modifiant le lacet ou le tangage de la trajectoire est interdit. Tout système modifiant le roulis doit être inhibé au neutre durant la phase propulsée.			
67	SECU10	8.2	Pour les systèmes éjectant des éléments, une protection mécanique (chaîne, bandeau) doit empêcher leur sortie normale en cas de déclenchement pendant les manipulations.		NA	
68	SECU11	8.3	Les gaz comprimés utilisés comme source d'énergie ou comme vecteur d'énergie doivent être ininflammables.		NA	
69	SECU12	8.3	Les réservoirs de gaz comprimés doivent être équipés d'une purge permettant de les vidanger indépendamment du fonctionnement du système qu'ils alimentent.		NA	
70	SECU13	8.3	$CS \geq 2$ où CS est le coefficient de sécurité (rapport entre la valeur maximale que peut supporter un équipement et la valeur normale).		NA	
71	SECU14	8.3	Le matériel au sol de remplissage des réservoirs de gaz comprimés doit être équipé au minimum : -soit d'une mesure de pression permettant de contrôler la pression de gonflage, -soit d'une valve de sécurité, tarée au plus à 1,5 fois la pression de fonctionnement. A l'exception d'une conception telle que la pression maximale produite soit toujours inférieure à 1,5 fois la pression de fonctionnement.		NA	
72	SECU15	8.3	Les systèmes pneumatiques doivent avoir une autonomie de 2 heures minimum. La mise en pression ou en dépression ne peut se faire sur rampe pour des raisons de temps.		NA	
73	SECU16	8.3	Les systèmes pneumatiques ne doivent pas éjecter de pièces à l'extérieur de la fusée.		NA	
74	SECU17	8.3	Pour tout système pneumatique avec une pression de fonctionnement supérieure à 10 bars il est nécessaire de faire une demande à Planète Science en envoyant la documentation au minimum 3 mois avant la campagne de lancement.		NA	
75	SECU2	8.1	Il est interdit d'embarquer à bord des fusées des produits pouvant être dangereux.			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

76	SECU3	8.1	Il est interdit d'embarquer à bord des fusées des animaux morts ou vivants.			
77	SECU4	8.1	Les systèmes qui commandent des processus actifs sur rampe avant le décollage doivent être équipés d'un système permettant aux équipes opérationnelles de connaître leur état à chaque instant. De la même façon, les télémessures en bande GSM ne doivent pas émettre entre le début des opérations pyrotechniques et le décollage. Il est enfin interdit d'installer un récepteur de télémessure en zone pyrotechnique.			
78	SECU5	8.1	Le club doit fournir la portée balistique et l'altitude d'apogée pour un lancement à 80° ainsi que la portée balistique pour un lancement à 45° pour la RCE2.			
79	SECU6	8.1	L'altitude maximale atteinte par le projet ne doit pas dépasser l'altitude maximale permise par le terrain de lancement (se reporter au document terrain).			do cu me nt ter rain ?
80	SECU7	8.2	Seuls les actionneurs pyrotechniques (cisailles, cordons, vérins, etc.) conçus et fabriqués par des professionnels, non modifiés et non périmés, dont le fonctionnement n'induit aucun effet pyrotechnique extérieur à leurs enveloppes, peuvent être montés dans les fusées. La puissance d'un système pyrotechnique doit être strictement adaptée à la fonction à remplir.		NA	
81	SECU8	8.2	Tous les systèmes pyrotechniques déclenchés électriquement doivent avoir un des deux fils de mise à feu connecté à la masse mécanique de la fusée, l'autre étant relié au séquenceur par l'intermédiaire d'un dispositif pouvant déconnecter le séquenceur et assurer le court-circuit et la mise à la masse mécanique de la fusée des fils de mise à feu. La position mécanique de ce dispositif doit permettre de déterminer sans ambiguïté son état.		NA	
82	SECU9	8.2	Tous les systèmes pyrotechniques déclenchés mécaniquement (percuteur, ...) doivent être équipés d'un dispositif mécanique assurant le verrouillage du système pendant le transport (loquet, goupilles, ...). Ce verrouillage doit être identifiable sans ambiguïté.		NA	
83	SEQ1	5.3	AUCUNE LIAISON ELECTRIQUE, autre que la masse électrique, n'est autorisée entre les séquenceurs et entre chaque séquenceur et tout autre système électrique embarqué.			
84	SEQ2	5.3	Le séquenceur doit avoir une autonomie d'au moins 1 heure et la mise en marche doit se faire en rampe.			
85	SEQ3	5.3	Le séquenceur doit avoir la puissance nécessaire pour déclencher le mécanisme de séparation.			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

86	SEQ4	5.3	Signalisation : Trois informations doivent être données explicitement (position claire des interrupteurs, voyants, buzzer, ...) : -séquenceur sous tension ou hors tension -séquenceur actif (la fusée a décollé) ou inactif (la fusée attend le décollage) -actionneur actif (séparation commandée) ou inactif (séparation non commandée)			
87	SEQ5	5.3	Dans le cas d'un déclenchement de la séparation par des capteurs (i.e. différent d'une minuterie), un fenêtrage temporel $[T1, T2]$ par un séquenceur est obligatoire. $T1 \geq 0.8 * T$ . $T2 \leq 1.2 * T$ . avec $T =$ instant prévu de déclenchement Un cavalier et des points de test devront permettre d'isoler et de vérifier facilement le fonctionnement du module de fenêtrage temporel. Le temps $T2$ sera utilisé pour déterminer les paramètres de vol au moment de l'ouverture (ex. vitesse relative à l'extraction parachute...).			
88	SEQ6	5.3	Le club doit connaître la formule donnant la valeur du temps de déclenchement du séquenceur à partir des valeurs des composants employés.			
89	SEQ7	5.3	Le club doit réaliser les plans du séquenceur et de son câblage électrique (à la prise d'initialisation, à l'actionneur, aux alimentations, ...).			
90	SNR1	3.2.2 .2	Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de télémesure : capteur, conditionneur, filtre anti-repliement, CAN, microprocesseur, amplificateur de sortie, émetteur (voir Figure 3).			
91	SNR2	3.2.2 .2	La trame de transmission doit être conforme au standard SNR.			
92	SNR3	3.2.2 .2	Les fréquences modulantes doivent être conformes au standard SNR.			Standard signal /bruit
93	SNR4	3.2.2 .2	La bande passante du signal en entrée du convertisseur doit être limitée pour éviter tout repliement de spectre.			
94	STAB1	4.2	Vitesse en sortie de rampe $> 20$ m/s			
95	STAB2	4.2	Elancement : $10 < f < 35$			
96	STAB3	4.2	Portance : $15 < Cn < 40$			
97	STAB4	4.2	Marge Statique : $2 < MS < 6$			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

98	STAB5	4.2	Produit $MSxC_n=C_m : 40 < C_m (< 100)$ , un produit supérieur à 100 nécessite des conditions de lancement particulières.			
99	STAB6	4.2 10.6	Dans le cas d'une fusée à deux jeux d'ailerons dont les ailerons sont alignés, la fusée doit être stable à la fois sans tenir compte des effets de masquage du jeu d'aileron inférieur par le jeu d'aileron supérieur et à la fois en tenant compte de cette interaction.	2.2		
100	STAB7	4.2	Les ailerons doivent avoir un profil symétrique. Les ailerons d'un même empennage doivent être identiques et être au nombre de 3 ou 4.	2.2		
101	STOC1	3.2.3	Les données mesurées doivent être stockées dans la fusée.	4.1		
102	STOC2	3.2.3	Le club doit démontrer qu'il a les moyens de décoder les données stockées.			
103	STOC3	3.2.3	Le système de stockage doit supporter les contraintes physiques du vol de la fusée et l'atterrissage.			
104	STOC4	3.2.3	Le système de stockage doit avoir une autonomie d'au moins quatre jours (résistance à l'humidité, alimentation électrique, température, ...)			
105	STOC5	3.2.3	Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de mesure.			
106	SUP1	11.1	Toute fusée ayant un nombre de Mach supérieur à 0.8 pendant une durée supérieure à 1 seconde devra respecter les règles ci-après.			
107	SUP2	11.1	Le club doit fournir un document prouvant que l'expérience ne peut être menée que dans un régime supersonique ou transsonique deux mois après la RCE1.			
108	SUP3	11.1	Le club doit fournir pour la RCE2 un document synthétisant les différents aspects du projet, explicitant le respect des règles du présent cahier des charges et une analyse de la stabilité pendant toutes les phases du vol basé sur une géométrie désormais figée.			
109	SUP4	11.1	Le club doit disposer d'un moyen de localisation post-vol indépendant de la localisation visuelle depuis le sol.			
110	TEL1	3.2.2 .3	Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de télémétrie.			
111	TEL10	3.2.2 .4	Toute liaison montante doit être limitée à la mise en oeuvre. La liaison montante doit être désactivée à la fin de la mise en oeuvre par le club avant le vol.	4.2	C	
112	TEL2	3.2.2 .3	Les systèmes de transmission de données doivent pouvoir résister à une rupture de transmission.			

## Dossier de conception 1.3

### Fusée Bételgeuse - Electrolab

113	TEL3	3.2.2 .3	Le club doit démontrer qu'il est capable de décoder les données reçues.			
114	TEL4	3.2.2 .3	Dans le cas où les données transmises sont hors de la bande 20 Hz - 20 kHz, le club doit fournir le moyen de stocker les données reçues.			
115	TEL5	3.2.2 .4	L'émetteur doit être capable de transmettre dans de bonnes conditions les données issues de l'expérience, en respectant la réglementation internationale des télécommunications. Cette condition est vérifiée dans le cas de l'utilisation correcte d'un émetteur fourni par PLANETE SCIENCES. Ainsi pour le Kiwi, il faut notamment que : - l'alimentation de l'émetteur soit entre 7.5V et 14V. - la tension de modulation soit entre 0.1V et 5V crête à crête. Si le club utilise deux émetteurs KIWIS simultanément, il est impératif d'en informer PLANETE SCIENCES et le CNES au moins 2 mois avant le C'Space. Si le club utilise une fréquence GSM, cela doit impérativement être fait à travers le réseau GSM pour lequel l'émetteur dispose d'une carte SIM. Il est en revanche interdit d'utiliser les fréquences GSM directement. Le club doit également respecter la règle SECU4. Si le club utilise un autre émetteur, il devra indiquer la fréquence et la puissance d'émission dans le dossier de conception.			
116	TEL6	3.2.2 .4	Les fréquences utilisables et les puissances HF émises doivent être les suivantes : - supérieure à 150 mW dans le cas d'utilisation d'un émetteur KIWI (137.05 et 137.5MHz) ; - inférieure à 10mW pour la bande de fréquence 433.05MHz à 434.79MHz ; - inférieure à 25mW pour la bande de fréquence 868MHz à 869.2MHz ; - inférieure à 500mW pour la bande de fréquence 869.4MHz à 869.65MHz. La PIRE émise doit être : - inférieure à 100mW pour la bande de fréquence 2400MHz à 2483.5MHz pour les systèmes à large bande (bande wifi) ; - inférieure à 500mW pour la bande de fréquence 5470MHz à 5725MHz pour les systèmes à large bande (bande wifi) ; La bande 144-146MHz peut être utilisée sous réserve qu'un radioamateur licencié soit présent lors des émissions.	4.2		
117	TEL7	3.2.2 .4	L'utilisation de bandes de fréquences non citées à la règle TEL6 ou non comprises dans les bandes de fréquence GSM est interdite.			
118	TEL8	3.2.2 .4	L'émetteur doit avoir sa propre alimentation, avec un interrupteur de mise sous tension indépendant des autres interrupteurs. L'autonomie de l'émetteur doit être d'au moins 1 heure.			
119	TEL9	3.2.2 .4	Le TOS (Taux d'Ondes Stationnaires) doit être inférieur à 2 (à la fréquence d'émission).			

# Retour d'expérience de la campagne de lancement du C'SPACE 2018

L'équipe Electrolab avait prévu de lancer la fusée Betelgeuse lors de la campagne de lancement 2018. Nous n'avons pas pu finaliser la validation à temps et donc réaliser le lancement.

Nous avons listé ci-dessous les différents sous-systèmes de la fusée, le statut final à la fin de la campagne de lancement et les axes d'amélioration pour l'année prochaine.



## Structure:

Les principaux axes d'amélioration se portent sur la qualité des nacelles et la connectique du système de télémétrie.



Figure 1 : connecteurs inadaptés au format tubulaire.

**Statut :**

- Les câbles coaxiaux entre les antennes/ailerons et la carte radio étaient trop courts et ont complexifié l'assemblage de toutes les expériences.
- La carte radio connectant les 4 câbles coaxiaux provenant des antennes n'était pas adaptée au format tubulaire de la fusée.
- Nacelles PLA : Les défauts de précision de la fabrication ont rendu complexe l'intégration des nacelles dans la fusée.

**Amélioration :**

- Penser à un meilleur matériau/solution pour fabriquer les nacelles
- Placer les connecteurs coaxiaux de la carte radio dans l'axe de la fusée
- Prévoir des câbles coaxiaux assez long pour faire toute l'intégration des nacelles par le haut du premier étage.

## Intégration électronique:

Pas de problème majeur au niveau de l'intégration électronique.

**Statut :**

- Système fonctionnel
- Câbles standardisés par rapport à 2017
- Jeu de connecteurs ont facilité l'assemblage de chaque expérience

**Amélioration:**

- Concevoir toute les cartes électroniques pour être placées perpendiculairement à l'axe de la fusée (à l'horizontal)

## Système de communication temps réel

Bien que les antennes installées sur les ailerons ont bien fonctionnées, un bug a été identifié trop tard sur la carte radio, que nous a obligé à choisir une solution alternative.

**Statut :**

- Carte radio principale (Spino) non-fonctionnelle.
- Carte radio de backup (carte Lora 433Mhz) fonctionnelle au sol.
- Les antennes-ailerons sont fonctionnelles (-15dbm) sur une distance d'un 1m et -50dbm sur une distance d'100m.

**Amélioration :**

- Fixer le bug sur la carte principale (Spino).
- Améliorer les procédures de tests électronique.

# Système de trajectométrie

La carte système de trajectométrie (BGC) inclut aussi une carte radio de type Lora 433Mhz en mode SPI, qu'on a considéré pour remplacer la carte radio (Spino) qui ne fonctionnait pas. Mais malheureusement le SPI n'a pas non plus fonctionné à cause d'un bug hardware. Ce qui nous a obligés à remplacer toute la carte BGC par sa version de prototypage BGC-PROTO à base d'Arduino Mega.

## Statut :

- Le SPI sur la carte BGC non-fonctionnelle.
- Assemblage BGC-PROTO (à base de Carte Arduino Mega) fonctionnelle.

## Amélioration :

- Fixer le bug Hardware SPI sur la carte principale (BGC).
- Améliorer les procédures de tests électronique.

# Système de séparation



Figure 2: Système de séparation - assemblage acier / PLA

Les principaux axes d'amélioration reposent sur la qualité des matériaux et le système de libération du verrouillage.

Statut :

- La mise à zéro manuel du système de séparation (mise en état verrouillé) était trop complexe pour être correctement reproductible. Le zéro du servomoteur ne pouvant être fixé qu'au niveau logiciel.
- L'assemblage acier(billes et tiges) / PLA (structures) manquait de rigidité.
- Un jeu mécanique important est apparu lors de l'assemblage entre la structure de la fusée et les parties du systèmes de séparation.

Amélioration :

- Envisager le changement de matériau vers l'aluminium pour corriger les défauts de rigidité et le jeu mécanique observé lors des tests.
- Remplacer le système de servo moteur couplé à un réducteur par un système moteur continu et vis sans fin réglable manuellement pour la mise à zéro.

## Système prise de vue

Le système de prise de vue n'avait été envisagé seulement si le temps nous le permettait.

Statut :

- Système n'est pas encore implémenté

Amélioration :

- Prévoir les caméras et la carte d'enregistrement des données
- Test de vibration pour assurer la fiabilité de l'enregistrement

## Alimentation

Statut :

- Système fonctionnel

Amélioration :

- Mise en place d'un LED On/Off par expérience
- Display visible depuis l'extérieur de la fusée pour afficher la tension de chaque batterie
- Système de limitation de décharge pour les batteries LiPo