

# TECHNICAL NOTE

Title: VOSTOK RECOVERY EJECTION SYSTEM  
Project: SPACE RACE 2021 EPFL Rocket Team  
Filename: 2021\_RE\_TN\_0002  
Prepared by: Xavier Kervyn  
Checked by: Joshua Cohen-Dumani  
Approved by: Zaid Kaddour

Responsible signature

## TABLE OF CONTENTS

<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
1.1 ABSTRACT . . . . .	2
1.2 DEFINITIONS AND ABBREVIATIONS . . . . .	2
<b>2 MODULE RE</b>	<b>3</b>
2.1 Vue d'ensemble . . . . .	3
2.2 Implémentation . . . . .	3
<b>3 ALTIMETRE RAVEN 3</b>	<b>4</b>
3.1 Réparation des ports d'entrée . . . . .	4
3.2 Simulation par logiciel FIP . . . . .	5
3.3 Conclusion des tests . . . . .	5
<b>4 E-MATCHES</b>	<b>6</b>
4.1 Manufacturing . . . . .	6
<b>5 TESTS</b>	<b>7</b>
5.1 Dimensionnement du fil . . . . .	7
5.2 Points pratiques . . . . .	8
5.3 E-matches finales . . . . .	9
<b>6 SHEAR PINS</b>	<b>9</b>
6.1 Démarche . . . . .	9
6.2 Conclusion des tests . . . . .	11

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 ABSTRACT

Considérations pour l'implémentation d'un système d'éjection dual event.  
EPFL Rocket Team projet *Space Race*, team Vostok 2020-2021.

## 1.2 DEFINITIONS AND ABBREVIATIONS

ND	Normative Document
RD	Reference Document
LV	Launch Vehicle
RE	Recovery
ST	Structure
AV	Avionics
SRAD	Student Researched and Developped
COTS	Commercial Off-the-Shelf
ConOps	Concept of Operations
FIP	Featherweight Interface Program

## 2 MODULE RE

### 2.1 Vue d'ensemble

Le module Recovery consiste en l'ensemble des éléments spécifiques RE placés dans la partie de la fusée communément appelée *avionics bay*, qui contient donc l'essentiel de l'électronique embarquée dans la fusée (baromètre, antenne, etc.). Ce compartiment fait office de coupleur (jonction des tubes inférieur et supérieur). Spécifiquement, ce coupleur contient l'altimètre (Raven 3) et sa source d'alimentation (batterie LIPO 11.1V, entre les deux plaques verticales) et des sucres permettant des connexions simples et précises des fils électriques. Sur la plaque supérieure se trouvent les deux canisters contenant la poudre noire utilisée pour l'éjection du main parachute. Cette dernière est déclenchée après que l'altimètre ait déchargé du courant à une altitude programmée, lequel allumera des e-matches (allumettes électriques) qui feront exploser la poudre noire. Par

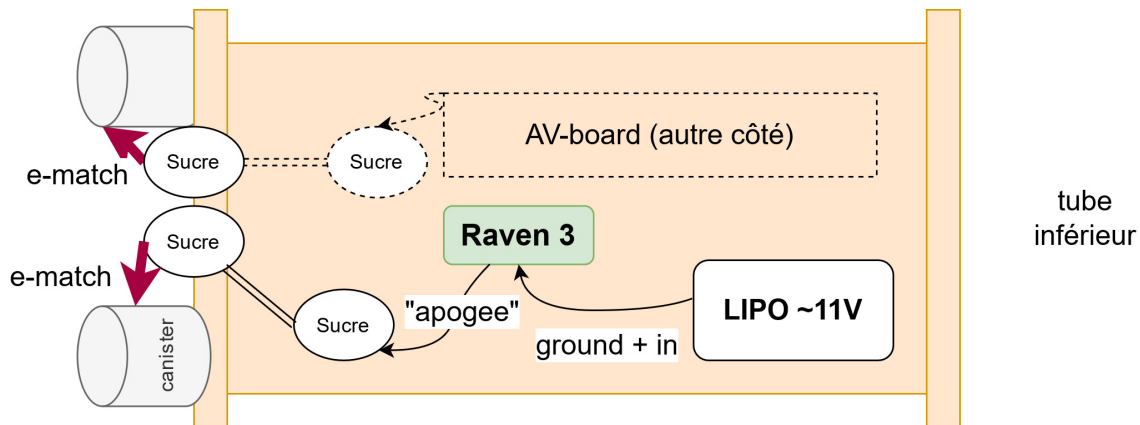


Figure 1: Schéma du coupleur RE. Les points traitillés désignent les composants situés sur l'autre face du coupleur.

souci de redondance et de sécurité, le système est double et indépendant. Un deuxième canister est ainsi directement lié à l'altimètre développé par le sous-système AV selon le même principe (sucre, e-match, etc.). La Figure 1 synthétise le dispositif mentionné.

### 2.2 Implémentation

Le design et la manufacture du coupleur en lui-même a été réalisée par le sous-système ST. Au moment de fixer les composants mentionnés plus haut sur les plaques du coupleur, il a fallu s'assurer que toutes les connexions pourraient être faites proprement et facilement. Comme nous disposions d'assez de place pour tous les composants, il a été décidé d'utiliser plus de sucres : un au sein du coupleur et un sur la plaque supérieure pour chaque système, soit quatre sucres en tout. Les connexions Raven-sucre et AV-board-sucre sont ainsi fixes (le fil n'est pas changé à chaque fois), de même que celles entre les sucres (doubles traits sur la Fig.1; le fil traverse la plaque du coupleur et est donc scellé avec de l'exopoxy par souci d'étanchéité). Les e-matches qui vont du sucre supérieur au canister peuvent facilement être changées avant chaque nouvelle éjec-

tion. Une photo de la plaque supérieure peut être trouvée en Figure 2. On y voit aussi l'eyebolt auquel sera fixée la partie en kevlar des shock cords.



Figure 2: Assemblage de la plaque supérieure du coupleur RE-AV. Les deux canisters sont clairement visibles, ainsi que les deux sucres (en noir) et les trous pour le passage des fils reliant les sucres supérieurs aux sucres inférieurs. Ces deux trous vont ensuite être scellés avec de l'époxy.

### 3 ALTIMETRE RAVEN 3

Nous avons utilisé comme altimètre COTS un Raven 3, dont la Rocket Team disposait déjà.

#### 3.1 Réparation des ports d'entrée

Lorsque nous avons récupéré l'altimètre, un des "screw terminals" (nécessaire à la connection du Raven avec la batterie et les e-matches) était défectueux. Notre première solution fut de souder un connecteur à la batterie 9V aux port (on peut le remarquer en Figure 3). Cependant comme décrit en section 5.2, nous avons réalisé qu'une batterie 9V ne peut pas tirer assez de courant pour allumer une e-match avec du nichrome, ce qui nous a poussé à utiliser une batterie LiPo 11.1V, qui n'utilise pas ce connecteur.

Le connecteur pour pile devenu inutile, nous avons décidé de dé-souder le "screw terminal" et le remplacer avec celui d'un autre altimètre Raven inutilisable pour une autre raison.

[Ajouter photo réparé à côté et conclusions de la réparation après tests](#)

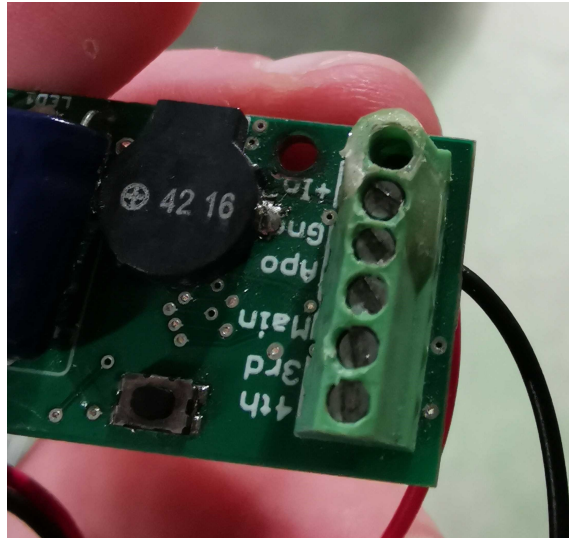


Figure 3: Image du raven 3 avant réparation. On remarque que le terminal +in n'a pas de vis.

### 3.2 Simulation par logiciel FIP

Afin de tester notre altimètre, nous avons utilisé le logiciel Featherweight Interface Program (FIP). Celui-ci nous permet de programmer l'altimètre pour le vol et d'effectuer des simulations. Les réglages utilisés pour simuler une éjection du type deuxième event sont présentés en Figure 4. On peut retrouver une image de l'allumage de l'e-match en figure 7. Le graphe de ce test est ci-dessous en Figure 5. La documentation du Raven 3 se trouve ici. Elle n'est pas très complète mais aide à prendre l'altimètre en main.

### 3.3 Conclusion des tests

- Comme expliqué de manière plus approfondie en section 5.2, il est important d'utiliser une batterie LiPo (et pas alcaline) si on utilise des igniters confectionnés. Sinon la batterie 9V fonctionne très bien pour faire fonctionner le Raven (c-à-d l'allumer, connecter au FIP). Dans la documentation de celui-ci il est sous-entendu qu'une batterie fonctionnant avec plus de 165 mAh n'est pas recommandé mais ceci n'est pas le cas.
- Pour une raison inconnue, le Raven n'envoyait pas de signal (pas de chute de tension du tout) avec la batterie 9V. Il est donc mieux d'utiliser une batterie plus puissante si on veut utiliser le mode simulation.

COM3 [Raven] : Firmware Version 3.0 : Build Apr 29 2012 14:28:55 : AXIS (2)

Apogee Pyro Channel	Custom	<input type="checkbox"/> Latched	Save to file...
Main Pyro Channel	Output Disabled	<input type="checkbox"/> Latched	Load from file...
3rd Pyro Channel	Output Disabled	<input type="checkbox"/> Latched	Reset Raven to Factory Defaults
4th Pyro Channel	Output Disabled	<input type="checkbox"/> Latched	Undo / ReLoad from Altimeter
			Program the Altimeter...

	Apogee	Main	3rd	4th		
Lift off detected (required)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Acceleration > Accel1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Accel1	4.0 Gs
Acceleration < Accel2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Accel2	-1.0 Gs
Flight Time < TVal time	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	TVal	2.5 sec
Flight Time > TVal time	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Height Above Pad < AGL1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	AGL1	960 ft
Height Above Pad > AGL2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	AGL2	288 ft
Height Above Pad < AGL3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	AGL3	480 ft
Pressure increasing	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Pressure decreasing	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Velocity < Vel1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vel1	400 ft/sec
Velocity > Vel2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vel2	-4 ft/sec
Velocity < 0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Time delay	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Delay	2.00 sec
After Burnout of Motor Number	1	1	1	1		

Status Configure Cal/Test Program Bank 0

Figure 4: Capture d'écran du panneau de configuration FIP pour les simulations.

## 4 E-MATCHES

### 4.1 Manufacturing

Le rôle des e-matches est de convertir l'électricité envoyée en énergie thermique (flamme) par un court-circuit et cela afin de déclencher l'explosion de la poudre noire, ce qui permet d'éjecter le parachute par la surpression dans le système. Pour les fabriquer, nous avons utilisé deux fils électriques en partie dénudés à l'une de leurs extrémités et serrés l'un contre l'autre avec du fil de nichrome (permet le court-circuit en joignant les deux extrémités dénudées) comme visible en Figure 6a. Le dimensionnement du fil de nichrome est détaillé dans la section suivante. Il faut également veiller à ne pas avoir une trop grande distance entre les extrémités des deux fils, pour pouvoir les rentrer intégralement dans le canister.

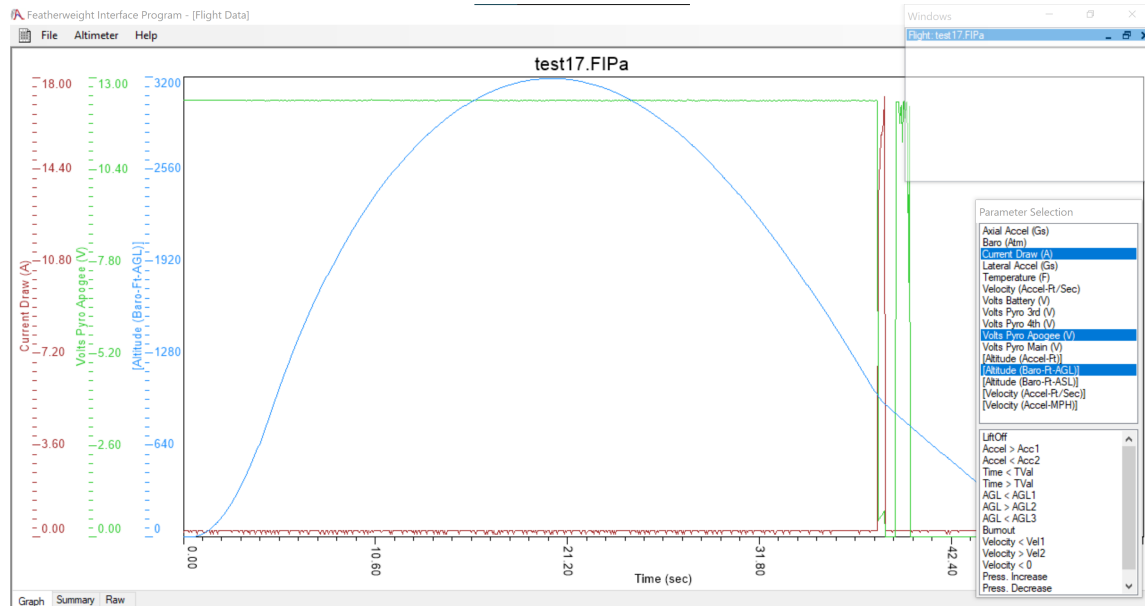


Figure 5: Graphique résultant de la simulation. On y remarque à 38 secondes l'éjection fictive avec la chute de tension du pyro et le signal résultant (rouge).

## 5 TESTS

### 5.1 Dimensionnement du fil

Les fils utilisés pour designer les igniters sont des fils de nichrome 80 WIRE 26 GA (de diamètre 0.4 mm).

Ces fils ont une résistance de l'ordre de 3.31 Ohms/ft ( $\Leftrightarrow$  0.1086 Ohms/cm). Pour injecter un courant suffisant permettant de bruler le fil, il nous a été conseillé de designer des igniters ayant des résistances entre 0.5 Ohms et 2 ohms. Nous utilisons une batterie LiPo 11.1 V 850 mAh pour alimenter les igniters. On peut ainsi calculer le courant les traversants en utilisant la loi d'Ohm  $U = R.I \Leftrightarrow I = U/R$  (On considère la batterie chargée pour ces tests). Nous avons donc choisit de tester 6 E-matches ayant les dimensions suivantes:

Longueur du fil	Résistance équivalente	Courant généré
4cm	0.4344 Ohm	27 A
5cm	0.543 Ohm	22A
10cm	1.086 Ohm	11A
12cm	1.30 Ohm	9.2A
15cm	1.629 Ohm	7.3A
17cm	1.8462 Ohm	6.5A



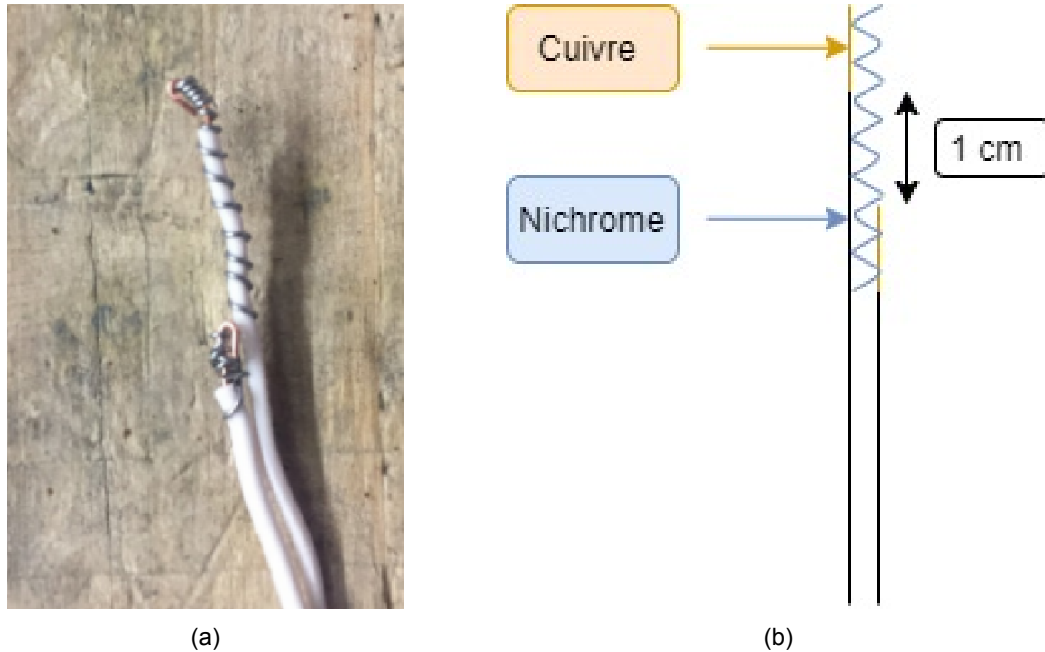


Figure 6: (a) E-match fabriquée. Le fil de nichrome enroulé d'un fil à l'autre est clairement visible.  
(b) Schéma e-match

L'E-match ayant la longueur de fil de 12 cm (de résistance 1.30 Ohm) utilisée avec la batterie lipo 11.1V nous a permis de tester le Raven 3 en simulation et de remarquer que le courant généré dans l'E-match au moment de l'ouverture fictive du parachute lui permet bien de prendre feu:

## 5.2 Points pratiques

- La plus grosse perte de temps que nous avons rencontrés est venue d'une erreur dans le choix de la pile utilisée. Il faut faire attention à utiliser une pile avec un voltage suffisant pour alimenter les igniters, et surtout vérifier avec un Voltmètre que la pile est suffisamment chargée (à noter qu'une pile qui perd un ou deux volts peut déjà être déchargée et que pile déchargée  $\neq U_{pile} = 0V$ ). Nous avons utilisé au départ une pile de 9V, laquelle s'est avérée incapable d'envoyer assez de courant à l'e-match d'un seul coup pour que celle-ci s'enflamme. L'utilisation d'une batterie LiPo avec de meilleures capacités a résolu le problème.
- Faire attention au fait que la longueur du fil de nichrome qui importe dans le calcul de la résistance équivalente est bien celui située entre les deux fils de cuivres (les tours de fil de nichrome qui touchent les fils de cuivres ne comptent pas).



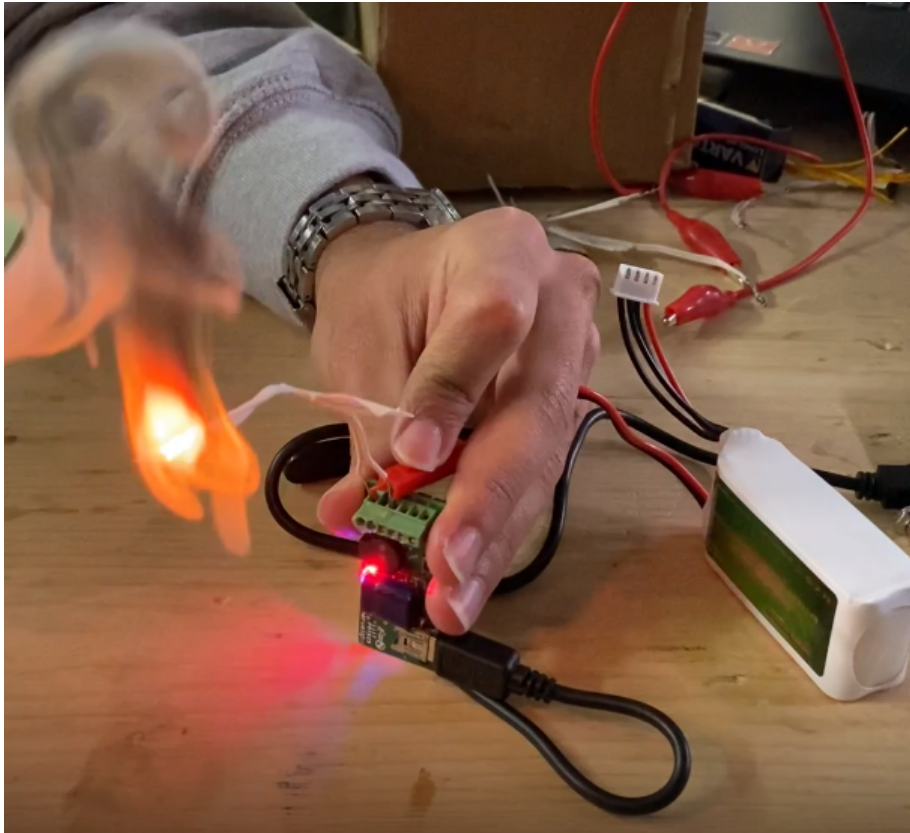


Figure 7: Ematch de 1.30 Ohm prenant feu au moment de l'ouverture du parachute sur la simulation

### 5.3 E-matches finales

Les E-matches précédemment réalisés étaient destinés à des tests nous permettant de vérifier le fonctionnement du Raven et la réalisation de notre ejection test.

Les E-matches que nous utiliserons lors du vol de la fusée sont les Aerotech first fire igniters 24". Ils sont plus fiables car ils nous évitent de potentielles erreurs de manufacturing. Nous avons préféré en faire nous même lors de nos nombreux tests pour des questions de coûts (il est beaucoup moins cher de les faire soit même que de les acheter).

## 6 SHEAR PINS

### 6.1 Démarche

Le but des shear pins est d'éviter une séparation prématurée des différents étages de la fusée pendant le vol. Deux séparations sont possibles:



Figure 8: Aerotech first fire igniters 24" utilisés dans la fusée

- entre le boattail (étage moteur) et le coupleur AV-RE (drogue chute);
- entre le tube du coupleur AV-RE et le nosecone (main chute).

Le plus grand risque estimé pour notre fusée concerne le dernier point.

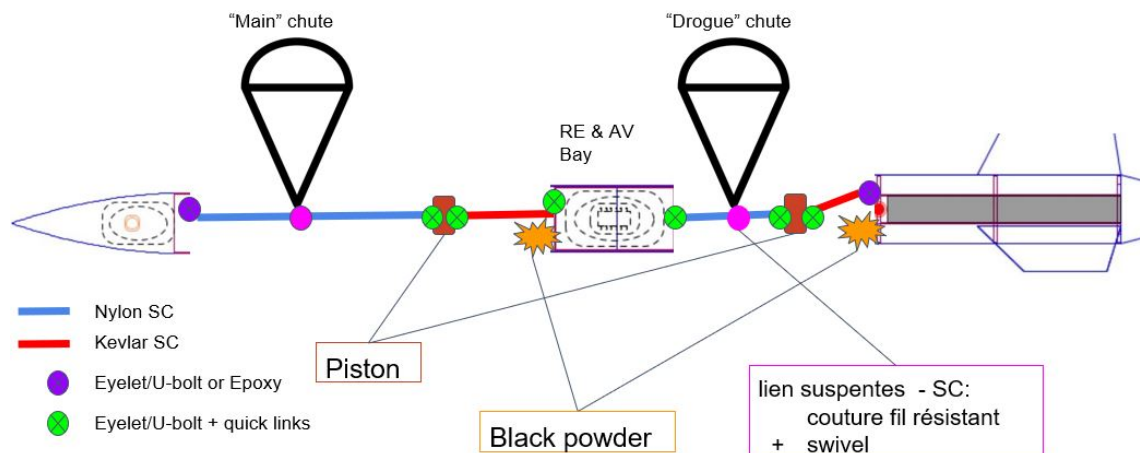


Figure 9: Dispositif RE de la fusée. Les shear pins ne seront utilisés que pour le main event.

**Boattail - coupleur AV-RE** Le maintien de la fusée sera assuré par du *friction fit* et aucun shear pins ne sera utilisé. En effet, les deux étages doivent se séparer à l'apogée pour permettre le déploiement du drogue chute. Pendant la phase d'ascension (quasi-verticale) de la fusée, on considère que le risque de séparation des compartiments est négligeable car la poussée du moteur maintiendra le tout emboîté. A l'apogée, les forces de trainée et de pesanteur prendront le dessus sur la poussée et aideront (par inertie des éléments présents dans le corps de la fusée) à la bonne séparation des deux compartiments. L'emploi de shear pins n'est donc pas justifié à cet étage de la fusée.

**Coupleur AV-RE - Nosecone** Contrairement au paragraphe précédent, on souhaite éviter un déploiement du main parachute prématuré. Ce genre d'accident a une grande probabilité de se produire à l'apogée pour les raisons évoquées dans le paragraphe précédent. Plus précisément, il y a un risque de séparation indésirée

- lorsque les forces de trainée et de pesanteur vont ralentir rapidement la fusée et que l'inertie du matériel dans le corps de la fusée va "pousser" sur le nosecone;
- lors du déploiement du drogue chute après quelques mètres de chute libre de la fusée, qui va provoquer une grande secousse, laquelle pourrait éjecter le nosecone par gravité (ce dernier étant alors orienté vers le sol).

L'emploi de shear pins vise donc à empêcher ces accidents de se produire. Leur bons dimensionnement, ainsi que celui de la poudre noire utilisée pour la séparation des compartiments doit tout de même permettre le déploiement du main parachute sans encombres à l'altitude souhaitée pour le deuxième event. Les ressources suivantes ont été utiles:

- Rocketry General Discussion Forum - "What size shear pins to use and how many?"
- Leaderville - "Shear Pin Calculations"
- Northwest Rocketry "Shear Pins- A Beginners Guide" et "Shear Pins".
- Technical Note et Script Matlab de l'équipe Bella Lui II

Les shear pins à disposition de Space Race sont en fait des rivets, visibles à la Figure 10, et dont seule la vis est utilisée (datasheet ici). Il s'est par la suite avéré complexe et imprécis d'estimer correctement de manière théorique le nombre de shear pins nécessaires (manque d'informations sur la composition de la poudre noire, sur la résistance des shear pins utilisés, etc.). Il a donc été décidé de procéder plutôt à des tests, décrits en section ??.

## 6.2 Conclusion des tests

Les tests menés ont montré qu'une secousse brusque après une chute de 1.5m suffisait pour séparer le nosecone du tube lorsqu'il y avait seulement du friction fit. Avec un seul shear pin, le nosecone ne s'est pas désolidarisé du tube, ce même après une chute libre de 4.5m. Pour finir, 0.6g de poudre noire ont suffi pour casser deux shear pins diamétralement opposés et le nosecone a été correctement éjecté. Nous avons donc décidé d'utiliser deux shear pins. Les médias relatifs aux test peuvent être trouvés ici.

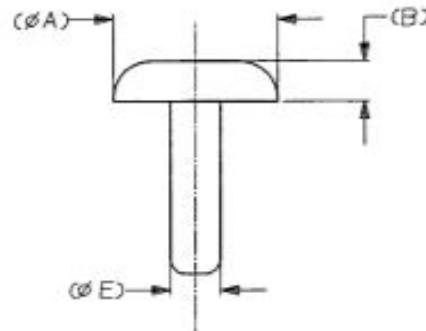


Figure 10: Schéma des rivets utilisés comme shear pins.

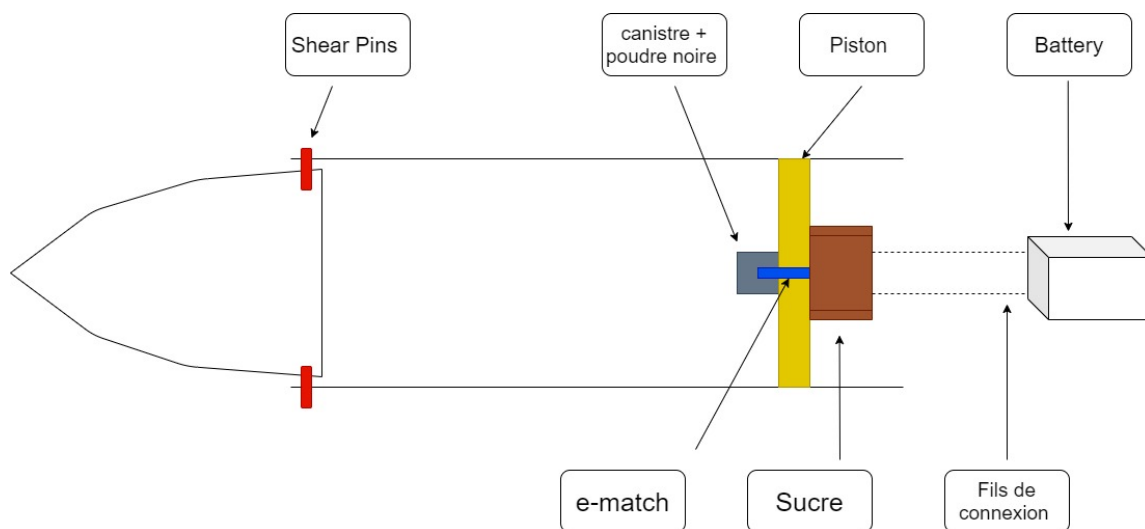


Figure 11: Schéma du montage pour tester les shear pins