



Service Education Jeunesse du CNES  
18, avenue Edouard Belin - 31401 TOULOUSE CEDEX 9  
Tél. : ( ) 5 61 27 31 31  
Site Internet : www.cnes.fr



PLANETE SCIENCES - Secteur Espace  
16, place Jacques Brel - 91130 RIS-ORANGIS  
Tél. : ( ) 1 69 02 76 10 / Fax : ( ) 1 69 43 21 43  
Site Internet : www.planete-sciences.org/espace

|                                 |   |                           |
|---------------------------------|---|---------------------------|
| Document :                      | <b>CAHIER DES CHARGES<br/>FUSEES EXPERIMENTALES BI ETAGE</b>  |                           |
|                                 | <i>Noms et sigles</i>   | <i>Date et Signatures</i> |
| Rédigé par :                    | - Bertrand BOCQUET (CNES/DLA/SDT/SPC && CNES/DCO//EJ), Pierre SERIN (CNES/DLA/SDT/SPC)<br>Avec la participation de Romain BORE, Jérôme HAMM, Flavien DENIS, Armelle FRENEA-SCHMIDT, Nicolas PRALY, Alexandre SIMON, Nicolas VERDIER, Thierry STILLACE |                           |
| Approuvé par :                  | - Planète Sciences (Responsable national activités espace)<br>- Pierre SERIN (CNES/DLA/SDT/SPC)<br>- Thierry STILLACE (CNES/DLA/SDT/SEL)<br>- Stéphane FREDON (CNES/DCO//EJ)  |                           |
| Autorisé pour application par : | - Marie-Claude SALOME (CNES/DCO/D)  |                           |

## CAHIER DES CHARGES pour FUSEES EXPERIMENTALES BI ETAGES

Cahier Planète Sciences/CNES

|                |                           |
|----------------|---------------------------|
| Références     | BI/CDC/1/CNES-PLASCI/V1.1 |
| Version        | 1.1                       |
| Etat           | <b>Pour diffusion</b>     |
| Date d'édition | 21 décembre 2017          |
| Nb pages       | 99                        |

# 1. REFERENCES

## 1.1. ANALYSE DOCUMENTAIRE

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Classe (Confidentialité) : NC   | Type : Cahier des charges vecteur |
| Mots clés : Fusée expérimentale bi-étage / Cahier des charges / contrôles   |                                   |
| Rédacteur(s) : Bertrand BOCQUET (CNES/DLA/SDT/SPC && CNES/DCO//EJ), Pierre SERIN<br>Avec la participation de Romain BORE, Jérôme HAMM, Flavien DENIS, Armelle FRENEA-SCHMIDT, Nicolas PRALY, Alexandre SIMON, Nicolas VERDIER, Thierry STILLACE |                                   |
| Résumé : Document de référence relatif aux conditions de qualification d'un projet fusée expérimentale bi-étage.  |                                   |
| Date de première parution :   | Date de dernière mise à jour :    |
| Gestion en configuration (figé ou amené à évoluer) : Oui  |                                   |
| Logiciel(s) hôte(s) : MS Word 2010 ®  | Nombre de pages : 99              |
| Emplacement :   |                                   |

## 1.2. DIFFUSION

| Organisme/Groupe       | Sigle          | Fonction   |
|------------------------|----------------|--|
| CNES                   | CNES/DCO//EJ   | Responsable des activités fusées expérimentales et chef de service |
| CNES                   | CNES/DLA       | Responsable sauvegarde   |
| CNES                   | CNES/DCT/TV    | Responsables des activités pyrotechniques en lien avec le C'Space  |
| CNES                   | CNES           | Membres de la commission technique                                 |
| CNES                   | CNES           | Pyrotechniciens C'Space  |
| CNES                   | CNES/DLA/FIL   | Responsable projet PERSEUS   |
| Planète Sciences       | Secteur Espace | Responsable Sauvegarde   |
| Planète Sciences       | Président      |  |
| Planète Sciences       | Secteur Espace | Responsable national activités espace                              |
| Planète Sciences       | Secteur Espace | Responsable permanent équipe suivi clubs                           |
| Planète Sciences       | Secteur Espace | Responsable bénévole contrôles fusex                               |
| Planète Sciences       | Secteur Espace | Animateurs fusex   |
| Planète Sciences       | Réseau PS      | Référents espace régionaux   |
| Clubs Planète Sciences |                | Tous les clubs Planète Sciences inscrits sur un projet fusex       |

## 1.3. MODIFICATIONS / HISTORIQUE DU DOCUMENT

| Version | Date       | Modifications ... par ...   | Approbation | Observations |
|---------|------------|---|-------------|--------------|
| 1.0     | 08/2017    | Rédigée par Bertrand BOCQUET,<br>Avec la participation de Romain BORE, Jérôme HAMM, Flavien DENIS, Armelle FRENEA-SCHMIDT, Nicolas PRALY, Alexandre SIMON |             |              |
| 1.1     | 21/12/2017 | Complétée par Pierre SERIN<br>Avec la participation de Nicolas VERDIER, Thierry STILLACE, Bertrand BOCQUET  |             |              |
|         |            |   |             |              |

#### 1.4. DOCUMENTS DE REFERENCES

- [R1] Note technique « Le vol de la fusée, Stabilité et Trajectographie » version 2.0 de juillet 2008 édité par Planète Sciences : <http://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/vol-de-la-fusee.pdf>
- [R2] Note technique « Les parachutes des fusées expérimentales » de février 2002 édité par Planète Sciences : <http://www.planete-sciences.org/espace/publications/techniques/parachutes.pdf>
- [R3] Note technique « Compte-rendu de projet et manuel d'utilisation » sur le décodeur de télémétrie IRIG d'octobre 1999 de l'ANSTJ : <http://www.planete-sciences.org/espace/Ressources/>
- [R4] Note technique « Télémétrie numérique » de mars 1993 édité par l'ANSTJ : [http://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/telemetrie\\_numerique.pdf](http://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/telemetrie_numerique.pdf)
- [R5] Note technique « Emetteur KIWI manuel de l'utilisateur » référence CS - 0001339 version 3.0 du 12/03/2009 édité par le CNES [http://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/manuel\\_kiwi\\_millennium.pdf](http://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/manuel_kiwi_millennium.pdf)
- [R6] Cahier des propulseurs « Les propulseurs des clubs aérospatiaux » version 1.5 de mars 2009 édité par Planète Sciences [http://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/propulseurs\\_spatiaux.pdf](http://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/propulseurs_spatiaux.pdf)
- [R7] Fiche de demande de dérogation aux règles de ce cahier des charges : <http://www.planete-sciences.org/espace/Ressources/>
- [R8] Note technique « Aide à la rédaction d'une chronologie de fusée expérimentale » version 2.0 du 16 août 2017 édité par Planète Sciences : <http://www.planete-sciences.org/espace/Ressources/>
- [R9] Document terrain « Tarbes 1<sup>er</sup> RHP » du 16 août 2017 : <http://www.planete-sciences.org/espace/Ressources/>
- [R10] « Etude de sécurité vol pour application au camp de Ger » référence DLA-AS-0-5-CNES, du 1<sup>er</sup> juillet 2015, établi par le responsable sauvegarde du CNES.

**1.5. TABLE DES MATIERES**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. REFERENCES .....</b>  | <b>2</b>  |
| 1.1. ANALYSE DOCUMENTAIRE .....   | 2         |
| 1.2. DIFFUSION .....  | 2         |
| 1.3. MODIFICATIONS / HISTORIQUE DU DOCUMENT .....                         | 2         |
| 1.4. DOCUMENTS DE REFERENCES .....  | 3         |
| 1.5. TABLE DES MATIERES .....   | 4         |
| <b>2. AVERTISSEMENT.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>3. INTRODUCTION .....</b>  | <b>11</b> |
| 3.1. BUT DE CE DOCUMENT .....   | 11        |
| 3.2. ORGANISATION DU DOCUMENT .....                                       | 12        |
| 3.3. DEMANDE DE DEROGATION .....  | 13        |
| 3.3.1. <i>Durant la conception</i> .....                                  | 13        |
| 3.3.2. <i>Durant Les contrôles lors de la campagne de lancement</i> ..... | 13        |
| <b>4. DEFINITION DE LA FUSEE ET DE SON ENVIRONNEMENT.....</b>             | <b>14</b> |
| 4.1. DEFINITION D'UNE FUSEE EXPERIMENTALE BI-ETAGE .....                  | 14        |
| 4.2. METHODE .....  | 14        |
| 4.3. DEFINITIONS UTILES .....   | 15        |
| <b>5. SUIVI DOCUMENTAIRE.....</b>   | <b>16</b> |
| 5.1. GENERALITES .....  | 16        |
| 5.2. DOSSIER DE PROJET .....  | 19        |
| 5.3. ANALYSE DE SURETE DE FONCTIONNEMENT .....                            | 21        |
| <b>6. L'EXPERIENCE .....</b>  | <b>24</b> |
| 6.1. PHYSIQUE DE L'EXPERIENCE .....                                       | 24        |
| 6.2. LA CHAINE DE MESURE .....  | 25        |
| 6.2.1. <i>Caractéristiques générales</i> .....                            | 25        |
| 6.2.3. <i>Fusées avec télémessure</i> .....                               | 26        |
| 6.2.4. <i>Fusées sans télémessure</i> .....                               | 31        |
| <b>7. LA STRUCTURE MECANIQUE .....</b>                                    | <b>32</b> |
| 7.1. CONTRAINTES MECANQUES.....   | 32        |
| 7.2. STABILITE .....  | 34        |
| <b>8. LE SYSTEME DE RECUPERATION .....</b>                                | <b>36</b> |
| 8.1. LE SYSTEME DANS SON ENSEMBLE .....                                   | 36        |
| 8.3. L'INITIALISATION.....  | 37        |
| 8.4. LES SEQUENCEURS DE RECUPERATION .....                                | 38        |
| 8.5. L'EFFICACITE DU SYSTEME DE LIBERATION DU RALENTISSEUR .....          | 39        |
| 8.5.1. <i>Systèmes de type « séparation transversale »</i> .....          | 39        |
| 8.5.2. <i>Systèmes de type « porte latérale »</i> .....                   | 40        |
| 8.5.4. <i>Autres types de systèmes</i> .....                              | 41        |
| 8.6. LE RALENTISSEUR .....  | 42        |
| 8.7. RALENTISSEUR PILOTE .....  | 43        |
| <b>9. LE SYSTEME DE LOCALISATION.....</b>                                 | <b>44</b> |
| 9.1. LOCALISATION RADIO.....  | 44        |
| 9.2. LOCALISATION PAR FUMIGENES OU TRACEURS .....                         | 45        |
| <b>10. QUALITE .....</b>  | <b>46</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>11. SECURITE.....</b>                                       | <b>49</b> |
| 11.1. POINTS GENERAUX.....                                     | 49        |
| 11.3. SYSTEMES PYROTECHNIQUES.....                             | 52        |
| 11.5. SYSTEMES PNEUMATIQUES.....                               | 53        |
| 11.7. SECURITE ELECTRIQUE.....                                 | 54        |
| 11.9. SECURITE DE L'INFORMATION.....                           | 55        |
| <b>12. MISE EN ŒUVRE.....</b>                                  | <b>56</b> |
| 12.1. COMPATIBILITE RAMPE.....                                 | 56        |
| 12.2. COMPATIBILITE PROPULSEUR.....                            | 58        |
| 12.3. CHRONOLOGIE.....   | 64        |
| <b>13. LIGNE DE MISE A FEU DU SECOND ETAGE.....</b>            | <b>68</b> |
| 13.1. SPECIFICATIONS GLOBALES.....                             | 68        |
| 13.2. SPECIFICATIONS DE L'INFLAMMATEUR.....                    | 73        |
| 13.3. SPECIFICATIONS DE LA SECURITE PYROTECHNIQUE (SHUNT)..... | 76        |
| 13.4. SPECIFICATIONS DE L'ORDRE DE MISE A FEU.....             | 78        |
| 13.4.1. Généralités.....                                       | 78        |
| 13.4.2. Attitude second étage.....                             | 81        |
| 13.4.3. Fenêtre temporelle.....                                | 84        |
| 13.4.4. Séparation inter étage.....                            | 87        |
| 13.5. SPECIFICATIONS DE L'INTERRUPTEUR D'ALIMENTATION.....     | 89        |
| <b>14. L'EXPLOITATION DES RESULTATS.....</b>                   | <b>90</b> |
| <b>15. ANNEXES.....</b>  | <b>91</b> |
| 15.1. ANNEXE 1 – EXEMPLE DE CHRONOLOGIE DE LANCEMENT.....      | 91        |
| 15.2. ANNEXE 2 – EXTRAITS DE L'EST.....                        | 92        |
| 15.3. ANNEXE 3 – MATRICE STANDARD DE TESTS.....                | 97        |
| 15.4. ANNEXE 4 – TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL).....         | 98        |
| 15.5. ANNEXE 5 – EXEMPLE DE STRUCTURATION DE DOSSIER.....      | 99        |

---

**A**

|            |     |
|------------|-----|
| ASF1.....  | 27  |
| ASF2.....  | 27  |
| ASF3.....  | 27  |
| ATT1 ..... | 101 |
| ATT2 ..... | 101 |
| ATT3 ..... | 101 |

---

**C**

|               |    |
|---------------|----|
| CHRONO1.....  | 79 |
| CHRONO10..... | 79 |
| CHRONO2.....  | 79 |
| CHRONO3.....  | 79 |
| CHRONO4.....  | 79 |
| CHRONO5.....  | 79 |
| CHRONO6.....  | 79 |
| CHRONO7.....  | 79 |
| CHRONO8.....  | 79 |
| CHRONO9.....  | 79 |
| CP1 .....     | 73 |
| CP2 .....     | 73 |
| CP3 .....     | 73 |
| CP4 .....     | 73 |
| CP5 .....     | 73 |
| CP6 .....     | 73 |
| CP7 .....     | 74 |
| CP8 .....     | 74 |
| CP9 .....     | 74 |
| CR1 .....     | 70 |
| CR2 .....     | 70 |
| CR3 .....     | 70 |
| CR4 .....     | 70 |
| CR5 .....     | 70 |
| CR6 .....     | 70 |
| CR7 .....     | 70 |
| CR8 .....     | 70 |

---

**D**

|           |    |
|-----------|----|
| DEF1..... | 32 |
| DEF2..... | 32 |
| DSS1..... | 23 |
| DSS2..... | 23 |
| DSS3..... | 23 |

---

**E**

|            |     |
|------------|-----|
| EXP1 ..... | 113 |
|------------|-----|

---

**F**

|           |     |
|-----------|-----|
| FTP1..... | 104 |
| FTP2..... | 104 |
| FTP3..... | 104 |
| FTP4..... | 104 |

---

**I**

|              |     |
|--------------|-----|
| INF1 .....   | 90  |
| INF2 .....   | 90  |
| INF3 .....   | 90  |
| INI1 .....   | 47  |
| INTER1 ..... | 111 |
| IRIG1 .....  | 33  |
| IRIG2 .....  | 33  |
| IRIG3 .....  | 33  |
| IRIG4 .....  | 33  |

---

**L**

|            |    |
|------------|----|
| LOC1 ..... | 56 |
| LOC2 ..... | 56 |
| LOC3 ..... | 57 |

---

**M**

|             |                    |
|-------------|--------------------|
| MAF1 .....  | 85                 |
| MAF2 .....  | 85                 |
| MAF3 .....  | 85                 |
| MAF4 .....  | 85                 |
| MAF5 .....  | 85                 |
| MAF6 .....  | 86                 |
| MAF7 .....  | 86                 |
| MAF8 .....  | 86                 |
| MAF9 .....  | 86                 |
| MEC1 .....  | 40                 |
| MEC2 .....  | 40                 |
| MEC3 .....  | 40                 |
| MEC4 .....  | 40                 |
| MEC5 .....  | 40                 |
| MEC6 .....  | 40                 |
| MEC7 .....  | 40                 |
| MEC8 .....  | 40                 |
| MEC9 .....  | 40                 |
| MES1 .....  | 32                 |
| MES2 .....  | 32, 33, 34, 35, 38 |
| METH1 ..... | 30                 |
| METH2 ..... | 30                 |
| METH3 ..... | 30                 |
| METH4 ..... | 30                 |

---

**O**

|              |    |
|--------------|----|
| OBJ1 .....   | 30 |
| OBJ2 .....   | 30 |
| OBJ3 .....   | 30 |
| ORDRE1 ..... | 97 |
| ORDRE2 ..... | 97 |
| ORDRE3 ..... | 97 |
| ORDRE4 ..... | 97 |
| ORDRE5 ..... | 97 |

---

**Q**

|             |    |
|-------------|----|
| QUAL1 ..... | 59 |
| QUAL2 ..... | 59 |
| QUAL3 ..... | 59 |
| QUAL4 ..... | 59 |
| QUAL5 ..... | 59 |
| QUAL6 ..... | 59 |
| QUAL7 ..... | 59 |
| QUAL8 ..... | 59 |
| QUAL9 ..... | 59 |

---

## R

|             |        |
|-------------|--------|
| REC1 .....  | 46, 52 |
| REC10 ..... | 53     |
| REC11 ..... | 53     |
| REC12 ..... | 54     |
| REC13 ..... | 54     |
| REC14 ..... | 54     |
| REC15 ..... | 54     |
| REC2 .....  | 46, 52 |
| REC3 .....  | 46, 52 |
| REC4 .....  | 50     |
| REC5 .....  | 51     |
| REC6 .....  | 51     |
| REC7 .....  | 51     |
| REC8 .....  | 52     |
| REC9 .....  | 52     |

---

## S

|              |        |
|--------------|--------|
| SECU1 .....  | 62     |
| SECU10 ..... | 65     |
| SECU11 ..... | 66     |
| SECU12 ..... | 66     |
| SECU13 ..... | 66     |
| SECU14 ..... | 66     |
| SECU15 ..... | 66     |
| SECU16 ..... | 66     |
| SECU17 ..... | 47, 66 |
| SECU18 ..... | 67     |
| SECU19 ..... | 67     |
| SECU2 .....  | 62     |
| SECU20 ..... | 68     |
| SECU21 ..... | 62     |
| SECU3 .....  | 62     |
| SECU4 .....  | 62     |
| SECU5 .....  | 62     |
| SECU6 .....  | 62     |
| SECU7 .....  | 65     |
| SECU8 .....  | 65     |
| SECU9 .....  | 65     |
| SEP1 .....   | 108    |
| SEP2 .....   | 108    |
| SEP3 .....   | 108    |
| SEQ1 .....   | 48     |
| SEQ2 .....   | 48     |
| SEQ3 .....   | 48     |
| SEQ4 .....   | 48     |
| SEQ5 .....   | 48     |
| SEQ6 .....   | 48     |
| SEQ7 .....   | 48     |
| SNR1 .....   | 34     |
| SNR2 .....   | 34     |

|              |    |
|--------------|----|
| SNR3 .....   | 34 |
| SNR4 .....   | 34 |
| SPYTC1 ..... | 94 |
| SPYTC2 ..... | 94 |
| SPYTC3 ..... | 94 |
| STAB1 .....  | 43 |
| STAB2 .....  | 43 |
| STAB3 .....  | 43 |
| STAB4 .....  | 43 |
| STAB5 .....  | 43 |
| STAB6 .....  | 43 |
| STAB7 .....  | 43 |
| STAB8 .....  | 43 |
| STOC1 .....  | 38 |
| STOC2 .....  | 38 |
| STOC3 .....  | 38 |
| STOC4 .....  | 38 |
| STOC5 .....  | 38 |

---

**T**

|             |    |
|-------------|----|
| TEL1 .....  | 35 |
| TEL10 ..... | 37 |
| TEL11 ..... | 37 |
| TEL2 .....  | 35 |
| TEL3 .....  | 35 |
| TEL4 .....  | 35 |
| TEL5 .....  | 36 |
| TEL6 .....  | 36 |
| TEL7 .....  | 36 |
| TEL8 .....  | 37 |
| TEL9 .....  | 37 |

## 2. Avertissement

Cette version annule et remplace les précédentes.

Ce cahier des charges est exclusivement destiné aux fusées expérimentales bi-étage. Des cahiers des charges spécifiques aux ballons, microfusées, minifusées, fusées expérimentales mono-étages sont également disponibles.

**Pour être mené à bien, un projet de fusée expérimentale bi-étage doit être porté par une équipe d'une dizaine de membres. Etant donné la complexité d'un tel projet il paraît plus réaliste de se fixer un planning en deux ans. Il est particulièrement recommandé de réaliser une fusée facilement « testable » en ayant l'ergonomie à l'esprit tout au long du cycle de projet. Enfin, il faut s'assurer, pour chaque problème rencontré, de mettre en œuvre la solution la plus simple répondant à la question, à tous les niveaux (de la documentation jusqu'à la mise en œuvre du projet).**

Toute fusée expérimentale développée dans le cadre des activités proposées par le CNES et PLANETE SCIENCES doit répondre aux spécifications décrites dans ce document. Les suiveurs de PLANETE SCIENCES sont chargés de s'assurer, tout au long du développement de votre projet, du respect des règles établies dans ce cahier des charges, par le biais de 3 RCE (Rencontre des Clubs Espace). Si certains points ne vous paraissent pas clairs, n'hésitez pas à contacter le suiveur de votre projet ou le permanent technique de PLANETE SCIENCES. Les modalités du suivi des clubs sont disponibles dans un document intitulé : « Contrat moral ».

Vous devez vous conformer aux tests décrits dans ce cahier. Si votre fusée, de par sa conception ou son mode de construction, ne pouvait pas être contrôlée par les méthodes décrites dans ce cahier, vous devez proposer à PLANETE SCIENCES des méthodes adaptées et si nécessaire fabriquer les outils spécifiques, et les faire valider lors de la revue de conception.

**Si certains points particuliers s'opposent à la spécificité de votre projet, vous devez en avertir PLANETE SCIENCES le plus tôt possible et de toute façon avant la RCE2. Ils seront alors discutés au cas par cas après établissement d'une demande de dérogation.**

**Un projet bi-étage est l'aboutissement de vos savoir-faire et doit être empreint du plus grand soin dans tous ses aspects.**

L'autorisation de lancement est donnée à l'issue des contrôles qui ont lieu durant la campagne. Le CNES et PLANETE SCIENCES se réservent le droit d'interdire le lancement pour des raisons de sécurité.

PLANETE SCIENCES se réserve le droit de rectifier le contenu de ce document en fonction de l'évolution des techniques, des remarques faites par les clubs et des conseils qu'elle reçoit de l'extérieur.

En pratique, si votre expérience ou vos études permettent de préciser certains points, n'hésitez pas à en faire part au permanent technique.

### 3. Introduction

#### 3.1. BUT DE CE DOCUMENT

Les projets de fusée développés par les clubs aérospatiaux doivent répondre à des spécifications nécessitées par les impératifs de sécurité, d'utilisation du matériel collectif et de respect de « l'éthique des fusées expérimentales » (on ne lance pas de tubes vides !).

**Ce document n'est pas destiné à être un obstacle à votre création mais un guide d'aide à la conduite de projets.**

Les règles directement issues du cahier des charges fusées expérimentales mono-étage sont uniquement rappelées ; elles s'appliquent tant au second étage seul qu'à l'ensemble des deux étages assemblés. Pour le détail des contrôles, explications ou recommandations liés à ces règles, se reporter au cahier des charges fusées expérimentales mono-étage en vigueur.

La conception et la réalisation d'une fusée bi-étage doit être irréprochable car l'étage supérieur est un élément potentiellement dangereux s'il est mis en œuvre et/ou mis à feu dans de mauvaises conditions. Ainsi, ce type de projet doit répondre à des contraintes de sauvegarde sol (sécurité du travail) et vol pour préserver la sécurité des pyrotechniciens qui mettent en œuvre la fusée ainsi que le public et les membres du plan d'opération présents pendant le vol. Le présent document a pour but d'explicitier les règles de conception qui permettent d'atteindre cet objectif.

Un premier chapitre porte sur le suivi documentaire des projets au cours du temps. Il a pour but de vous aider à saisir la globalité du déroulement et du suivi de votre projet.

### 3.2. ORGANISATION DU DOCUMENT

Une fusée expérimentale bi-étage est un projet suffisamment complexe pour qu'il existe un très grand nombre de points dans son cahier des charges.

Afin d'essayer de faciliter la lecture et la compréhension de ce document, une approche méthodique pour sa structuration a été adoptée.

- a) Les différents chapitres présentent les différents points en partant des plus généraux vers les plus détaillés.
- b) Chaque chapitre du cahier des charges est présenté comme suit :

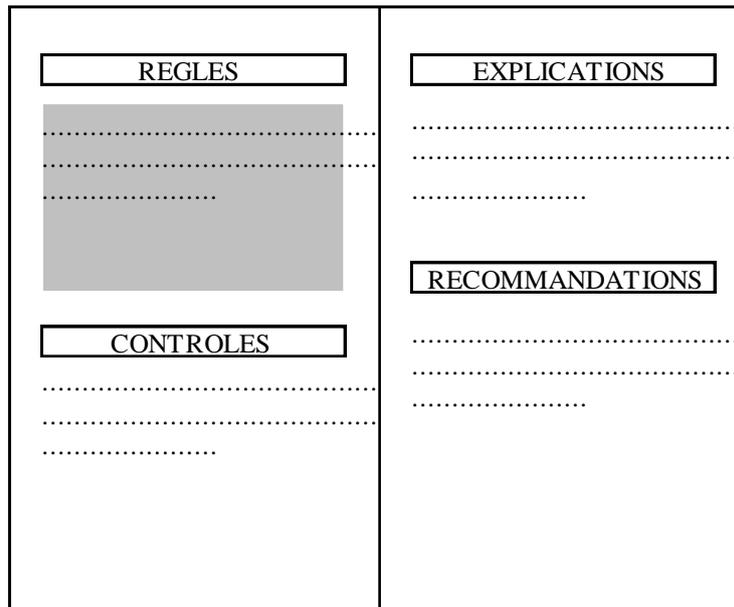


Figure 1: Présentation des chapitres

- la règle : repérée par un sigle (exemple : STAB2), elle indique très succinctement le point testé et surtout la valeur numérique associée (quand celle-ci existe).
- le contrôle : la vérification du respect de la règle se fait lors d'un contrôle effectué pendant la visite d'avancement et pendant les contrôles finaux de la campagne. Ce paragraphe décrit la façon dont le contrôle sera effectué.
- les justifications : chaque point indiqué dans ce cahier est justifié par les impératifs de sécurité et l'expérience des campagnes précédentes acquise par les clubs.
- les recommandations : ce sont des indications techniques issues de l'expérience qu'il est souhaitable de respecter si elles ne sont pas incompatibles avec les spécificités du projet. Leur but est de faciliter le travail du club, les opérations de contrôle et de lancement, et d'augmenter les chances de succès de votre projet.

### **3.3. DEMANDE DE DEROGATION**

#### **3.3.1. DURANT LA CONCEPTION**

Pour chacune des règles de ce document, si le club pense pouvoir prouver que les critères pour son projet sont moins restrictifs il doit faire une demande de dérogation au cahier des charge.

Cette dérogation ne sera donnée au club que s'il convainc la commission technique CNES / PLANETE SCIENCES du bien-fondé de sa demande.

Toute dérogation acceptée ou refusée pendant la phase de conception du projet ne sera pas remise en question lors de la campagne de lancement.

#### **3.3.2. DURANT LES CONTROLES LORS DE LA CAMPAGNE DE LANCEMENT**

Pour chacune des règles de ce document, si lors des contrôles le projet ne remplit pas les critères définis dans le cahier des charges, de par la qualité de la réalisation, mais si le club pense pouvoir prouver que ce non-respect des critères n'est pas critique vis-à-vis de la sécurité, de la mise en œuvre, ou des objectifs du projet, il doit faire une demande de dérogation au cahier des charge.

Cette dérogation ne sera donnée au club que s'il convainc le responsable des contrôles, qui fera le cas échéant appel aux membres de la commission technique CNES / PLANETE SCIENCES présents lors de la campagne, du bien-fondé de sa demande.

## 4. Définition de la fusée et de son environnement

### 4.1. DEFINITION D'UNE FUSEE EXPERIMENTALE BI-ETAGE

Le CNES et PLANETE SCIENCES qualifient de fusée expérimentale bi-étage toute fusée vérifiant les points suivants :

- Elle est développée dans le cadre de clubs amateurs par une équipe projet qui s'appuie sur une démarche expérimentale méthodique et sur une gestion de projet rigoureuse.
- Elle embarque une expérience, objectif principal du projet.
- Chaque étage est propulsé par un seul moteur<sup>1</sup>, délivré par le CNES.
- Elle a deux étages étagés verticalement.
- Le premier de ces deux étages, l'étage 1, est allumé en rampe.
- Le second de ces deux étages, l'étage 2, est allumé en vol.
- Sa conception doit permettre une mise en œuvre et un lancement qui ne transgressent pas les règles de sécurité (c'est-à-dire le présent cahier des charges et l'étude de sécurité du travail, annexe p.92).
- Elle respecte le cahier des charges bi-étage.

Dans ce cas, elle fait l'objet d'un suivi de la part de PLANETE SCIENCES dans le cadre décrit par le cahier « Contrat moral ».

De plus, elle est lancée lors de la campagne nationale annuelle, après avoir passé avec succès les contrôles finaux décrits par la suite.

### 4.2. METHODE

Le CNES et PLANETE SCIENCES souhaitent que l'activité «fusées expérimentales» s'appuie sur une démarche méthodique dérivée de celles utilisées par les professionnels.

**Une fusée expérimentale bi-étage est avant tout une expérience mise en œuvre dans un vecteur (ici une fusée).**

L'expérience doit être le point de départ de toute réflexion et définition. C'est donc elle qui conditionne, entre autres, le choix du ou des propulseur(s) et la présence d'un étage supplémentaire.

Ces points sont détaillés dans le document « Programme annuel des Clubs Spatiaux » (PACS) et dans le « Contrat moral espace ».S'agissant d'un projet bi-étage, il est attendu de l'équipe une attitude pro-active sous la forme du dossier de projet (voir §5 ci-après).

---

<sup>1</sup> Remarque : La conception de moteurs spécifiques, certifiés par des professionnels et le CNES, peut être exceptionnellement envisagée, mais nécessite l'établissement d'un projet sur au minimum 3 ans, cycle nécessaire à la définition préliminaire du projet puis à l'adaptation de l'étude de sécurité à l'utilisation d'un nouveau propulseur

#### 4.3. DEFINITIONS UTILES

Ce cahier des charges fixe les appellations suivantes :

- Ensemble : étage 1 et étage 2 assemblés et non séparés ;
- Séparation : implicitement séparation inter étage ;
- Récupération : sous-système ralentisseur, pouvant ouvrir la fusée mais à distinguer pour plus de clarté de la séparation telle que précédemment définie ;
- Séparation chaude : utilisation du moteur du second étage pour séparer les deux étages ;
- Séparation froide : utilisation d'un système non propulsif pour séparer les deux étages (ce qui peut inclure une solution pyrotechnique indépendante du moteur du second étage) ;
- Vol inerte : vol de contrôle avec un moteur inactif – équipé ou non d'un fumigène – avec inflammateur, au second étage ;
- Vol actif : vol avec un moteur actif au second étage ;
- Ligne de mise à feu : désigne la ligne de mise à feu du moteur du second étage, comprenant l'ordre de mise à feu ;
- Ordre de mise à feu : carte électronique indépendante électriquement de la ligne de mise à feu mais implémentant les sécurités vol de celle-ci ;
- Assiette : angle entre la trajectoire d'une fusée et le plan horizontal à un instant t. Par exemple, au décollage, cette assiette vaut l'inclinaison de la rampe, soit 80° ;
- Azimut : angle entre la trajectoire d'une fusée et le pôle Nord magnétique de la Terre.
- Attitude : orientation d'une fusée, comprend l'assiette mais aussi l'angle en roulis, l'angle en lacet ; se reporter à [R1].

## 5. Suivi documentaire

### 5.1. GENERALITES

Le suivi prendra la forme d'un dossier rédigé et continuellement mis à jour par l'équipe projet pour chaque RCE, afin de donner à la commission technique CNES / Planète Sciences une image du projet aussi proche de la réalité que possible.

Ce cahier des charges étant rédigé pour un projet « idéal » se déroulant en deux ans, il y est fait référence par exemple à « la première RCE1 » qu'il faut comprendre comme « la RCE1 de la première année ».

L'essentiel de la démarche commence par définir une « mission » c'est-à-dire une trajectoire nominale permettant de réaliser l'expérience et qui respecte le gabarit. Ensuite, en parallèle de l'étude de sûreté de fonctionnement, il faudra fixer la précision du moyen de mesure de l'attitude (assiette et azimut) et la/les fenêtre(s) temporelle(s) en s'assurant que les cas extrêmes respectent toujours le gabarit. Cette « conception » doit être mise à jour en fonction par exemple de l'évolution du bilan de masse du projet au fur et à mesure de sa réalisation et de son intégration.

La démarche suivante devra être adoptée, et adaptée aux besoins du projet :

Phases du projet:se concluant par :**La première année :**

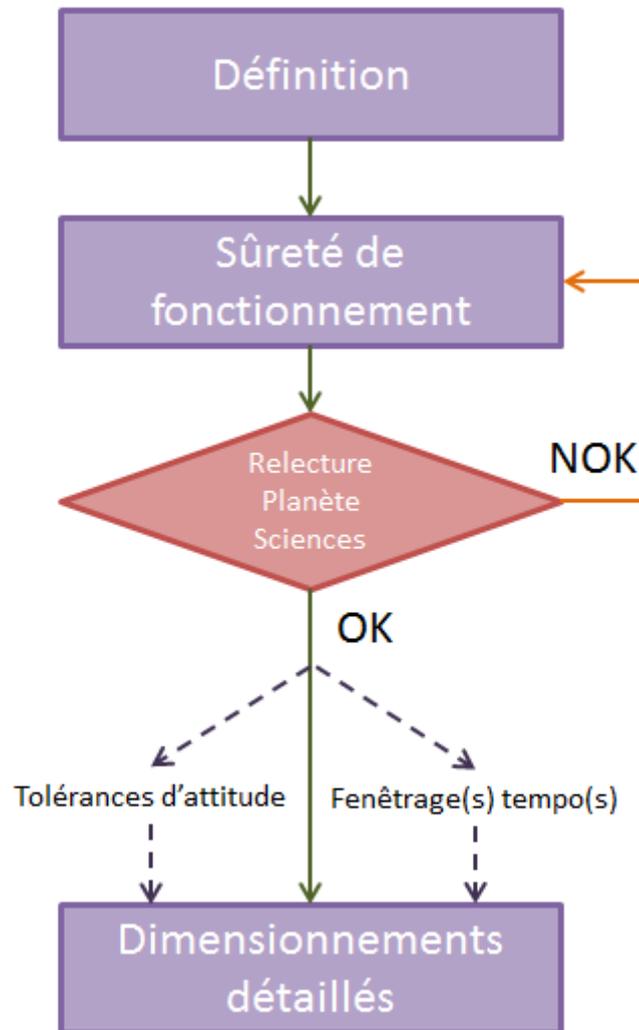
- Définition de la mission
- Définition de l'expérience
  
- Architecture générale
  - expérience
  - scénario de vol nominal respectant le gabarit
  - étude des points délicats
  - choix technologiques
  - étude des retours d'expérience
  
- Etude détaillée
  - Sécurité de fonctionnement
  - Tolérances d'attitudes
  - Fenêtrage temporel
  - Dimensionnements détaillés

**la définition d'objectif****l'étude de faisabilité  
+ la revue de définition (RCE1)****le dossier de projet  
+ la revue de conception (RCE3)****La deuxième année :**

- Réalisation des sous-ensembles
  
- Intégration
  
- Etalonnage et mise au point
  
- Les contrôles
  
- Mise en œuvre et lancement
  
- Récupération des vecteurs et des données de vols
  
- Exploitation des données
  
- Résultats

**visite d'avancement (RCE2)****la revue d'intégration (RCE3)****la qualification (Contrôles  
C'Space)****le lancement (C'Space)****le compte-rendu d'expérience**

La RCE2 de la première année sert d'étape d'itération pour l'analyse de sûreté de fonctionnement. Il est important d'échanger sur cette étude avec au moins un point de vue extérieur au projet pour la rendre plus pertinente et rigoureuse. C'est aussi l'occasion de demander des conseils et des compléments d'informations.



La réalisation des sous-ensembles peut *éventuellement* débuter dès la première année pour les systèmes qui ne seront pas amenés à évoluer.

Il faut noter qu'en cas de retard et/ou de report, ce planning « prévisionnel » durerait alors 3 ans et non 2. Même sans cela, il est chaudement recommandé de faire tous les efforts possibles, notamment via la documentation interne du projet, pour faciliter la conservation et la transmission de la connaissance du projet. En effet, une durée aussi longue implique que certains membres de l'équipe pourraient ne pas rester pendant l'intégralité de la durée du projet.

Remarque : On voit que le projet ne se termine pas au lancement de la fusée mais au compte rendu d'expérience !

## 5.2. DOSSIER DE PROJET

Le dossier de projet a pour but de présenter à la commission technique CNES / Planète Sciences l'image la plus exacte possible du projet. Ceci permettra de favoriser un suivi efficace.

### REGLES

**DSS1** : Le club doit présenter à la première RCE1 un bilan sur les savoir-faire de l'équipe, appuyé par des rapports de projets de moins de trois ans, évalué selon l'échelle « Technology Readiness Level » (cf. annexe). Les points suivants doivent apparaître, selon la définition du projet :

- Stabilité bi-empennage ;
- Intégrale de poussée ;
- Trajectographie 3D en temps réel à bord de la fusée ;
- Séparation inter-étage ne créant pas de flèche ;
- Sûreté de fonctionnement ;
- Fenêtrage temporel et composants logiques ;
- Systèmes de récupération pour chacun des étages.

**DSS2** : Le club doit présenter lors de la première RCE3 une conception finalisée et notamment les éléments suivants :

- Analyse de sûreté de fonctionnement ;
- Moteur(s) choisi(s) ;
- Solution de stabilité pour l'ensemble et le second étage ;
- Conditions de sécurité de l'ordre de mise à feu ;
- Inter-étage dimensionné (interface mécanique, actionneur, signal de commande nécessaire, ...) ;
- Scénario nominal de vol (événements et dates) ;
- Dimensionnement des systèmes de récupération de chacun des étages.

**DSS3** : Le club devra présenter lors des RCE suivantes une mise à jour des informations précédemment communiquées.

### CONTROLES

DSS1 : Il sera vérifié lors de la première RCE1 que le club présente les savoir-faire nécessaires.

DSS2 : Il sera vérifié lors de la première RCE3 que le club présente ses choix technologiques et les études demandées.

DSS3 : Il sera vérifié lors des RCE que le club présente un dossier représentatif de son projet.

**EXPLICATIONS**

DSS1 : Le but est autant de permettre à l'équipe portant le projet de prendre du recul face à la tâche qui l'attend, qu'aux suiveurs de juger la faisabilité du projet par rapport aux moyens de l'équipe. Les rapports demandés pour appuyer la justification que l'équipe possède effectivement les savoir-faire nécessaires ne doivent pas être trop anciens sous peine de ne pas être crédible.

DSS2 : L'analyse de sûreté de fonctionnement (détaillée plus bas) doit suivre la définition préliminaire demandée pour la RCE1, afin d'affiner les choix et la conception des différents systèmes qui vont suivre. L'ensemble doit être examiné par un point de vue extérieur afin d'en juger la cohérence.

DSS3 : Ce document ne doit pas tracer l'historique des choix et de la conception du projet, mais constituer un instantané à jour à chaque RCE. S'il est attendu objectivement un critère d'avancement (cf. QUAL7) le club est le mieux placé pour définir et réaliser ses objectifs (par exemple, présenter les deux étages assemblés et intégrés, avec démonstration du système de détermination d'attitude...).

**RECOMMANDATIONS**

DSS1 : Un projet bi-étage est complexe et sera facilité en vous appuyant sur les savoir-faire déjà présents dans votre club. Ne réinventez pas la poudre, à moins d'être confiant dans les ressources à votre disposition ! En cas de doute sur un choix technologique (trappe latérale ou séparation transversale ?), ne pas hésiter à présenter l'état des deux savoir-faire. Enfin ce « portrait » des savoir-faire est à contextualiser par les moyens disponibles (outils, machines-outils, horaires d'ouverture de l'atelier, réseau de partenaires, budget...).

DSS2 : Jouer le jeu permettra de bénéficier de conseils d'amélioration qu'il sera encore possible d'intégrer au projet.

DSS3 : Ce dossier peut également être la base de votre rapport d'expérience puisque le but est l'exhaustivité. Il devra de préférence adopter une forme semblable à l'annexe 5, à adapter selon les besoins :

Le paragraphe « registre des tests » doit être autonome (les contrôleurs doivent pouvoir le lire pendant le C'Space et avoir toutes les informations dont ils pourraient avoir besoin).

### 5.3. ANALYSE DE SURETE DE FONCTIONNEMENT

L'analyse de sûreté de fonctionnement consiste à analyser les défaillances pouvant se produire et leurs conséquences sur la sécurité des biens et des personnes. Historiquement, cette analyse permet de garantir la sécurité pyrotechnique par rapport aux spécificités du projet.

Idéalement, cette analyse de sûreté de fonctionnement est faite une fois la formule générale du projet fixée : séparation chaude ou froide, technologies utilisées pour la récupération des étages, structure ou peau porteuse, etc... Et impacte la conception détaillée du projet, notamment les barrières de sécurité de l'ordre de mise à feu.

#### REGLES

**ASF1** : L'événement redouté est l'écartement de la trajectoire réelle par rapport à la trajectoire simulée.

**ASF2** : L'analyse de sûreté de fonctionnement doit se conclure par la justification d'adéquation ou de non-adéquation aux règles MAF1 à 8, INF1 à 3, SECR1 à 3, SPYTC1 à 4, ORDRE1 à 5, ATT1 à 4, FTP1 à 4, SEP1 à 3, par rapport aux spécificités du projet. On attend soit la confirmation que les règles énoncées sont suffisantes, soit la proposition d'un contrôle plus adéquat. Cette analyse doit être effectuée pour la première RCE2, puis une version définitive doit être présentée à la première RCE3.

**ASF3** : L'analyse de sûreté de fonctionnement doit permettre de montrer que la fusée retombe dans le gabarit lors de l'occurrence d'une double panne, quelle que soit la phase de vie du projet et le bloc étudié.

#### CONTROLES

ASF1, 2, 3 : Contrôle de l'analyse de sûreté de fonctionnement lors des premières RCE2 et 3.

|                     |
|---------------------|
| <b>EXPLICATIONS</b> |
|---------------------|

Cette analyse de sûreté de fonctionnement doit assurer que le projet peut être mis en œuvre sans risque pour les biens et les personnes. Certains cas de simple et double panne sont couverts par les règles de ce cahier des charges, notamment l'évènement redouté d'allumage du moteur du second étage au sol ; il est du ressort de l'équipe portant le projet d'identifier lesquelles et que la solution décrite dans ce cahier des charges est pertinente. Enfin, les autres cas de simple et double panne doivent également être traités.

Cette étude permet donc au club de s'assurer que son projet implémente les solutions nécessaires, y compris dans les cas dégradés où deux pannes se produisent simultanément dans les systèmes mis en œuvre par le projet (y compris des systèmes a priori indépendants de la ligne de mise à feu du second étage). Cette étude n'a pas à étudier la ligne de mise à feu utilisée pour le moteur du premier étage ni les autres systèmes sols mis en œuvre par le CNES ou Planète Sciences. La méthode exacte (AMDEC, analyse par bloc...) est laissée libre.

ASF1 : Cet évènement redouté permet de s'assurer qu'aucun étage ne sortira du gabarit, soit « vers l'avant » de la rampe, soit « vers l'arrière » (et donc éventuellement vers le public). Le cas où le second étage retombe avec le moteur armé est considéré comme bénin puisque traité dans l'EST (cf. 0), et l'allumage intempestif au sol est a priori géré par les barrières de sécurité sol (double interrupteur d'alimentation, sécurité pyrotechnique et sécurité rampe).

ASF2 : Il est attendu de la part du club qu'il montre lui-même que son projet est soit couvert par le cahier des charges, soit de proposer des contrôles plus appropriés aux particularités de son projet.

ASF3 : Par phase de vie on comprend les différentes configurations dans lesquelles le projet se trouvera : en tente club pendant les manipulations, en zone rampe pendant les opérations pyrotechniques, en vol pendant la propulsion du moteur du premier étage, sous parachute, etc... Par bloc on entend sous-système du projet quelle que soit l'échelle choisie : premier étage, second étage ; carte électronique, actionneur de séparation ; il est possible d'étudier les défaillances jusqu'aux composants électroniques. Il est attendu que les blocs étudiés couvrent au minimum les éléments constituant le projet : mécanique, électronique et logiciel. Il est enfin nécessaire d'itérer au moins une fois en s'appuyant sur le point de vue extérieur constitué par un suiveur Planète Sciences pour améliorer cette étude avant de présenter la version définitive à la RCE3.

|                        |
|------------------------|
| <b>RECOMMANDATIONS</b> |
|------------------------|

ASF1 : Il est possible de trouver et traiter d'autres événements redoutés, mais seuls ceux qui pourraient avoir une influence sur la trajectoire doivent absolument être traités. Il faut considérer que traiter plus d'évènements redoutés implique une charge de travail supplémentaire non négligeable qui peut être toxique pour la démarche du club...

ASF2 : L'analyse de sûreté de fonctionnement peut prendre la forme qui semble la plus appropriée au club. De nombreuses méthodes existent (AMDEC, arbres de défaillances...). L'utilisation d'AMDEC a jusque maintenant été privilégiée. ASF3 : Le niveau de détail est laissé libre. Cependant, plus le niveau de détail sera poussé, plus les solutions retenues seront pertinentes : plutôt que de redonder toute une carte électronique pour une défaillance donnée, redonder un seul composant pourrait suffire. Il est donc conseillé d'adopter un niveau de détail aussi poussé que possible.

Dans le cas où l'analyse de sûreté de fonctionnement montre qu'il est nécessaire de vérifier que les systèmes de récupération ne sont pas ouverts pour autoriser l'allumage (concrètement via un contacteur de porte par exemple), il est recommandé de s'assurer que le comportement de ce contacteur est bien conforme. En effet, sous l'effet des vibrations pendant le vol, la trappe pourrait bouger et ledit contacteur pourrait alors transmettre un signal brouillé. Il faut donc s'assurer qu'il joue bien le rôle voulu et ne soit pas une cause de défaillances supplémentaires. Il faut s'assurer que la solution trouvée est la plus simple possible à tous les niveaux.

## 6. L'expérience

### 6.1. PHYSIQUE DE L'EXPERIENCE

L'expérience consiste à analyser un phénomène physique ou le fonctionnement d'un système. La mesure est le moyen de caractériser ce phénomène. La mesure n'est pas un but en soi.

| REGLES |
|--------|
|--------|

Les objectifs de l'expérience :

**OBJ1** : Le club doit définir les buts de l'expérience.

**OBJ2** : Le club doit déterminer les paramètres à étudier.

**OBJ3** : Le club doit fixer les gammes de mesures et les précisions requises.

La méthode retenue:

**METH1** : Le club doit indiquer les paramètres effectivement mesurés.

**METH2** : Le club doit établir les fonctions de conversion (entre les paramètres que l'on souhaite mesurer et ceux que l'on mesure effectivement).

**METH3** : Le club doit évaluer les erreurs de mesure.

**METH4** : 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.

## 6.2. LA CHAÎNE DE MESURE

### 6.2.1. CARACTERISTIQUES GENERALES

| REGLES |
|--------|
|--------|

Définition de la chaîne de mesure:

**DEF1** : Le club doit choisir les maillons de la chaîne de mesure (capteurs, conditionneurs, codeurs, ...) permettant d'obtenir les performances requises.

**DEF2** : Le club doit prévoir les méthodes d'étalonnage des différentes voies de mesure.

**MES1** : Toutes les voies de mesure doivent être étalonnées.

**MES2** : 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.

### 6.2.3. FUSEES AVEC TELEMESURE

#### 6.2.3.1. TELEMESURE ANALOGIQUE IRIG

Ce paragraphe concerne uniquement les fusées à télémétrie analogique, utilisant les bandes de modulation IRIG à  $\pm 20\%$  (Cf. [R3]).

#### REGLES

**IRIG1** : Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de télémétrie : capteur, conditionneur, VCO, multiplexeur, émetteur.

**IRIG2** : L'excursion en fréquence sur chaque voie IRIG doit être de  $\pm 20\%$ .

**IRIG3** : 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     | 15600   | 2600   |

**IRIG4** : Dans le cas de l'utilisation de plusieurs canaux IRIG, ils doivent tous avoir la même amplitude à  $\pm 10\%$  près.

**MES2** : 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.

#### RECOMMANDATIONS

Il ne faut pas utiliser de télémétrie IRIG pour transmettre l'attitude et/ou la position de l'étage concerné. Une télémétrie IRIG convient en effet très bien pour transmettre un unique paramètre, mais une information plus complexe (altitude + assiette + azimuth par exemple) est trop difficile à faire passer.

**6.2.3.3. TELEMESURE NUMERIQUE SNR**

Ce paragraphe ne concerne que les fusées à télémessure numérique utilisant le protocole de communication SNR.

**REGLES**

**SNR1** : Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de télémessure : capteur, conditionneur, filtre anti-repliement, CAN, microprocesseur, amplificateur de sortie, émetteur.

**SNR2** : La trame de transmission doit être conforme au standard SNR.

**SNR3** : Les fréquences modulantes doivent être conformes au standard SNR.

**SNR4** : La bande passante du signal en entrée du convertisseur doit être limitée pour éviter tout repliement de spectre.

**MES2** : 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.

**6.2.3.5. AUTRES SYSTEMES DE TELEMESURE**

Ce paragraphe ne concerne que les fusées dont la télémétrie ne correspond pas aux standards définis précédemment (IRIG et SNR).

| REGLES |
|--------|
|--------|

**TEL1** : Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de télémétrie.

**TEL2** : Les systèmes de transmission de données doivent pouvoir résister à une rupture de transmission.

**TEL3** : Le club doit démontrer qu'il est capable de décoder les données reçues.

**TEL4** : 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.

**MES2** : 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.

### 6.2.3.7. L'EMETTEUR

L'utilisation de fréquences sur les émetteurs embarqués à bord de fusées fait l'objet d'une réglementation stricte qu'il est nécessaire de prendre en compte lors de la conception ou de l'utilisation de ces émetteurs.

|               |
|---------------|
| <b>REGLES</b> |
|---------------|

**TEL5** : 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.

**TEL6** : 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.

**TEL7** : L'utilisation de bandes de fréquences non citées à la règle TEL6 ou non comprises dans les bandes de fréquence GSM est interdite.

**TEL8** : L'émetteur doit avoir sa propre alimentation, avec un dispositif de mise sous tension indépendant des autres interrupteurs. L'autonomie de l'émetteur doit être d'au moins 1 heure.

**TEL9** : Le TOS (Taux d'Ondes Stationnaires) doit être inférieur à 2 (à la fréquence d'émission).

**TEL10** : Toute liaison montante doit être limitée à la mise en œuvre. La liaison montante doit être désactivée à la fin de la mise en œuvre par le club avant la conduite des opérations pyrotechniques.

**TEL11** : Les émetteurs doivent être éteints lors des opérations pyrotechniques. Cette inhibition doit être levée à l'aide d'un dispositif actionnable à distance par les pyrotechniciens (ex. Jack).

#### 6.2.4. FUSEES SANS TELEMESURE

Ce paragraphe ne définit que les grandes lignes directrices que doit suivre un club dans le cas où il décide de stocker les données directement dans la fusée, sans retransmission.

#### REGLES

**STOC1** : Les données mesurées doivent être stockées dans la fusée.

**STOC2** : Le club doit démontrer qu'il a les moyens de décoder les données stockées.

**STOC3** : Le système de stockage doit supporter les contraintes physiques du vol de la fusée et l'atterrissage.

**STOC4** : Le système de stockage doit avoir une autonomie d'au moins quatre jours (résistance à l'humidité, alimentation électrique, température, ...)

**STOC5** : Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de mesure.

**MES2** : 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.

#### RECOMMANDATION

L'écriture des données doit être dotée d'un dispositif empêchant la réécriture (et l'effacement des données vol) en cas de réinitialisation de la carte au sol (conséquence du choc à l'atterrissage, ou d'une chute de tension par exemple).

## 7. La structure mécanique

### 7.1. CONTRAINTES MECANIKES

Ce paragraphe quantifie la tenue structurelle générale de la fusée. Il s'applique autant à l'ensemble des deux étages lorsqu'ils sont assemblés qu'au seul second étage.

#### REGLES

##### **MEC1 : Flèche**

Les flèches statiques de l'étage 2 et de l'ensemble doivent être inférieures ou égales à 1 % (10 mm/m).

Les flèches dynamiques de l'étage 2 et de l'ensemble doivent être inférieures ou égales à 1% par rapport à la position à vide (flèches statiques).

Les mesures doivent être prises sur le banc de test disponible quel que soit le propulseur utilisé par le club.

##### **MEC2 : Tenue en compression :**

Chaque élément de l'étage 2 et de l'ensemble 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  $\text{m/s}^2$  donnent  $F$  en Newton).

Particulièrement, les bagues de reprise de la poussée doivent résister à deux fois l'accélération maximale du propulseur concerné.

##### **MEC3 : 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  $\text{m/s}^2$ ; le produit  $0,5 \times$  masse volumique de l'air en  $\text{kg/m}^3$ , la surface en  $\text{m}^2$  et la vitesse en  $\text{m/s}$  donnent une force en Newton. Le coefficient de traînée sera pris à 0,6.

##### **MEC4 : 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  $\text{m}^2$  et la vitesse en  $\text{m/s}$ ).

**MEC5 :** Alignements des ailerons par rapport à l'axe longitudinal de la fusée  $< 1^\circ$

**MEC6 :** Angle entre deux ailerons consécutifs :  $90^\circ \pm 10^\circ$  (fusex à 4 ailerons) ou  $120^\circ \pm 10^\circ$  (fusex à 3 ailerons).

##### **MEC7 : Tenue en traction :**

L'étage 2 et l'ensemble doivent rester intègres quand ils sont soulevés verticalement par l'ogive les ailerons vers le bas et par les ailerons l'ogive vers le bas.

**MEC8** : 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.

**MEC9** : 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, ...).

#### RECOMMANDATIONS

**MEC1** : Le mécanisme inter étage est souvent source de flèche sur les bi-étages. Il est conseillé de prendre toutes les mesures possibles pour limiter celle-ci (se rapprocher de Planète Sciences en précisant si la fusée a une peau ou une structure porteuse) et ce dès la conception du projet. De façon générale, préférer un ou plusieurs centrage(s) long(s) pour emboîter les deux étages.

## 7.2. STABILITE

Tous nos calculs ( $C_n$ ,  $M_s$  et  $C_m$ ) sont basés sur le diamètre de référence qui est celui de l'ogive de l'étage concerné. L'ensemble des deux étages lorsqu'ils sont assemblés, comme le second étage seul, doivent respecter ces règles.

### REGLES

**STAB1** : Vitesse en sortie de rampe de l'ensemble et vitesse à l'allumage du second étage  $> 20$  m/s

**STAB2** : Elancement :  $10 < f < 35$

**STAB3** : Portance :  $15 < C_n < 40$

**STAB4** : Marge Statique :  $2 < MS < 6$

**STAB5** : Produit  $MS \times C_n = C_m$  :  $40 < C_m (< 100)$ , un produit supérieur à 100 nécessite des conditions de lancement particulières.

**STAB6** : 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.

**STAB7** : Les ailerons doivent avoir un profil symétrique. Les ailerons d'un même empennage doivent être identiques et être au nombre de 3 ou 4.

**STAB8** : Les règles STAB2 à 5 doivent être respectées pour la fusée complète et l'étage supérieur seul.

### CONTROLES

**STAB6** : On considère que deux jeux d'ailerons sont alignés s'il est possible, vue du vent relatif, de trouver deux ailerons consécutifs séparés par un angle de  $10^\circ$  ou moins.

**STAB8** : Contrôle à l'aide du logiciel de stabilité et trajectographie de Planète Sciences.

**EXPLICATIONS**

STAB8 : Intuitivement, toutes les configurations du projet doivent être stables (premier étage stable, second étage stable, ensemble stable). Il est cependant contraignant et finalement peu intéressant que le premier étage seul soit stable.

**RECOMMANDATIONS**

La stabilité influence l'attitude, et cette dernière est un critère d'autorisation de la mise à feu (cf. §13). Il faut donc se placer dans des conditions idéales, au centre des critères définis par ces règles, afin de favoriser les conditions de vol pour réunir les conditions d'allumage.

STAB6 : Afin de limiter les écarts de résultats entre les options (sans masquage et avec ½ masquage) il faut limiter l'envergure de l'empennage du haut.

STAB8: Adapter la stabilité du premier étage en fonction des spécificités du projet.

## 8. Le système de récupération

### 8.1. LE SYSTEME DANS SON ENSEMBLE

#### REGLES

**REC1** : Chaque étage doit être équipé d'un système ralentisseur fiable permettant de réduire sa vitesse de descente. L'éjection du/des ralentisseurs doit être franche.

**REC2** : Les systèmes ralentisseurs des étages et de tout autre élément éjecté doivent permettre une arrivée au sol à une vitesse verticale de moins de 15 m/s et de plus de 5m/s, y compris dans le cas dégradé où les deux étages ne se sont pas séparés.

**REC3** : Les instants de déploiement des systèmes ralentisseurs doivent être compatibles avec l'expérience menée par le club.

#### CONTROLES

REC2 : Vérification des vitesses de descente étages séparés et étages non séparés.

#### EXPLICATIONS

REC2 : Il est vital de s'assurer que les étages redescendent en toute sécurité quelles que soient les conditions.

#### RECOMMANDATIONS

REC2 : Plusieurs solutions sont envisageables en fonction de la définition exacte du projet, dans tous les cas la simplicité doit être privilégiée pour ces systèmes !

### 8.3. L'INITIALISATION

| REGLES |
|--------|
|--------|

**INI1** : 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.

**SECU17** : La ligne de mise à feu du moteur du premier étage est inaccessible à tout système embarqué (initialisation et expérience).

#### 8.4. LES SEQUENCEURS DE RECUPERATION

##### REGLES

**SEQ1 : AUCUNE LIAISON ELECTRIQUE**, autre que la masse électrique, n'est autorisée entre les séquenceurs et entre chaque séquenceur et tout autre système électrique embarqué.

**SEQ2** : Les séquenceurs doivent avoir une autonomie d'au moins 1 heure et la mise en marche doit se faire en rampe.

**SEQ3** : Les séquenceurs doivent avoir la puissance nécessaire pour déclencher les mécanismes de récupération.

**SEQ4** : 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 (récupération commandée) ou inactif (récupération non commandée).

**SEQ5** : Dans le cas d'un déclenchement de la récupération par des capteurs (i.e. différent d'une minuterie), un fenêtrage temporel [T1, T2] par un séquenceur est obligatoire.

$$T1 \geq 0.8 * T. \quad T2 \leq 1.2 * T.$$

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...).

**SEQ6** : Le club doit connaître la formule donnant les valeurs des temps de déclenchement des séquenceurs à partir des valeurs des composants employés.

**SEQ7** : Le club doit réaliser les plans des séquenceurs et de leurs câblages électriques (à la prise d'initialisation, à l'actionneur, aux alimentations, ...).

## 8.5. L'EFFICACITE DU SYSTEME DE LIBERATION DU RALENTISSEUR

### 8.5.1. SYSTEMES DE TYPE « SEPARATION TRANSVERSALE »

|               |
|---------------|
| <b>REGLES</b> |
|---------------|

**REC4** : La fusée doit être équipée d'un dispositif qui permet, au sol, lors de la séparation transversale :

- de dégager l'emboîtement des deux parties de la fusée, en soulevant le poids de la partie supérieure ;
- si le parachute est contenu dans des coquilles, de faire sortir les coquilles contenant le parachute d'au moins la moitié de leur longueur.

La fusée pouvant être testée dans son sens vol – ogive vers le haut – ou au contraire – ogive vers le bas.

**8.5.2. SYSTEMES DE TYPE « PORTE LATERALE »****REGLES**

**REC5** : La case contenant le système de récupération doit rester opérationnelle lorsqu'elle supporte en compression longitudinale une force :

$$F = 2 \times \text{Accélération Max} \times M_{\text{sup}}$$

où  $M_{\text{sup}}$  est la masse de la partie supérieure

(Numériquement l'accélération en  $\text{m/s}^2$  et la masse en kg donnent F en Newton).

**REC6** : En position fermée, la porte latérale ne doit pas dépasser du profil de l'étage.

**REC7** : 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 l'étage.

**8.5.4. AUTRES TYPES DE SYSTEMES****REGLES**

**REC1** : Chaque étage doit être équipé d'un système ralentisseur fiable permettant de réduire sa vitesse de descente. L'éjection du/des ralentisseurs doit être franche.

**REC2** : Les systèmes ralentisseurs des étages et de tout autre élément éjecté doivent permettre une arrivée au sol à une vitesse verticale de moins de 15 m/s et de plus de 5m/s.

**REC3** : Les instants de déploiement des systèmes ralentisseurs doivent être compatibles avec l'expérience menée par le club.

**REC8** : L'accélération et les vibrations de la fusée ne doivent pas modifier le fonctionnement des systèmes de récupération.

**REC9** : Les systèmes de récupérations utilisés doivent auparavant avoir été testés avec succès.

**8.6. LE RALENTISSEUR****REGLES**

**REC10** : Les ralentisseurs doivent être suffisamment solides pour résister au choc à l'ouverture.

**REC11** : Dans le cas de l'utilisation d'un parachute, celui-ci doit être équipé d'un anneau anti-torche (également appelé glisseur).

## 8.7. RALENTISSEUR PILOTE

Les ralentisseurs ne sont habituellement pas pilotés et les projets dérivent en phase de descente sous l'influence du vent. Il est possible de tenter de gouverner cette descente.

Dans le cadre d'un tel projet, c'est-à-dire tout projet utilisant un ralentisseur piloté, il est demandé de respecter les règles suivantes. Ces règles ne s'appliquent naturellement pas pour les ralentisseurs non pilotés.

| REGLES |
|--------|
|--------|

**REC12** : Un mode de sécurité doit être disponible, permettant d'effectuer une descente non pilotée dans les conditions décrites par les règles REC1 à 11.

**REC13** : Il doit être possible de détecter le déport latéral soit directement à bord de la fusée ou du module, soit depuis le sol, et de déclencher le mode de sécurité en cas de trop grand déport, de non détection ou d'absence de mesure.

**REC14** : La vitesse verticale doit être mesurée à bord, permettant ainsi l'autocontrôle du respect du critère de vitesse verticale de moins de 15 m/s et de plus de 5m/s. (cf. REC2) et le déclenchement du mode de sécurité si ce critère n'était pas vérifié.

**REC15** : Le club doit fournir à PLANETE SCIENCES un document décrivant le cas nominal de descente de la fusée et/ou du ou des module(s) et durées associées ainsi que les solutions permettant de respecter les règles REC12, 13 et 14 pour la RCE2.

## 9. Le système de localisation

Dans le cas où la fusée est munie d'un système permettant de la localiser après son atterrissage (radio, optique, sonore, ...), celui-ci doit vérifier les contraintes suivantes :

### 9.1. LOCALISATION RADIO

| REGLE |
|-------|
|-------|

**LOC1** : La bande de fréquence 136-138 MHz ne doit pas être utilisée.

**LOC2** : 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.

**9.2. LOCALISATION PAR FUMIGENES OU TRACEURS****REGLES**

**LOC3** : Les fumigènes et les traceurs ne doivent pas rejeter de corps toxiques ou incandescents. Si besoin est, ils doivent être équipés de crépines.

## 10. Qualité

### REGLES

**QUAL1** : Le club doit établir pour la première RCE1 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.

**QUAL2** : Le club doit réaliser les plans mécaniques de chaque pièce ainsi que de l'intégration.

**QUAL3** : Le club doit réaliser les plans d'intégration de l'ensemble des éléments de la fusée.

**QUAL4** : Le club doit réaliser les plans de câblage électrique.

**QUAL5** : Le club doit disposer de la documentation technique de l'ensemble des composants électriques et électroniques qu'il utilise.

**QUAL6** : Le club doit fournir lors de la première RCE3 un dossier de conception, cf. règle DSS2.

**QUAL7** : Le projet doit atteindre lors de la deuxième RCE3 un avancement de 90%.

**QUAL8** : L'ensemble des systèmes électriques embarqués doivent respecter les règles suivantes :

- Les cartes doivent toutes avoir un plan de masse ;
- Les plans de masse électriques des cartes doivent être reliés à la masse mécanique de l'étage dans lequel elles sont intégrées en un point unique ;
- Les masses mécaniques des deux étages doivent être communes (tant que les deux étages ne sont pas séparés) ;
- Les connecteurs utilisés doivent avoir un détrompage s'il n'est pas possible d'éviter les possibilités d'inversion de câblage par un autre moyen (cheminement, longueur des câbles etc...)
- Les connecteurs utilisés doivent avoir un système de verrouillage ou une tenue éprouvée aux vibrations ;
- Le câblage doit être réalisé avec des câbles multibrins uniquement ;
- Les câbles doivent tous être torsadés et/ou blindés.

**QUAL9** : Les alimentations à découpage, servomoteurs et autres sources de perturbation électromagnétiques, doivent respecter les bonnes pratiques figurant dans la documentation du fournisseur et être, si besoin, blindées.

|                  |
|------------------|
| <b>CONTROLES</b> |
|------------------|

QUAL7 : Cet avancement sera estimé à l'aide de l'algorithme de calcul d'avancement de Planète Sciences.

QUAL8 : Contrôle visuel des cartes, inspection du câblage, des connecteurs, mesures au multimètre.

QUAL9 : Contrôle visuel des composants concernées en relation à la documentation du fournisseur.

|                     |
|---------------------|
| <b>EXPLICATIONS</b> |
|---------------------|

QUAL7 : Le but pour le projet est de favoriser ses conditions d'opérations pendant la campagne. Un projet très avancé lors de la deuxième RCE3 met toutes les chances de son côté pour passer rapidement les contrôles lors de la campagne de lancements.

QUAL8 : Le but est de limiter autant que possible les causes de perturbations électromagnétiques ainsi que les erreurs de connexions et déconnexions intempestives au sol et en vol.

QUAL9 : Les alimentations à découpages génèrent des ondes électromagnétiques susceptibles de perturber le fonctionnement des autres systèmes embarqués (notamment les éventuels magnétomètres exploités par la centrale inertielle). Il convient donc de limiter celles-ci et toutes autres sources de perturbations électromagnétiques, par exemple en les plaçant dans un boîtier conducteur relié à la masse (faisant donc cage de faraday et évitant la propagation des ondes), et dans tous les cas en respectant les consignes du fournisseur.

|                        |
|------------------------|
| <b>RECOMMANDATIONS</b> |
|------------------------|

QUAL7 : Viser un avancement encore supérieur (95 voire même 100%) est possible. Construire un planning sur deux ans peut également être bénéfique pour la qualité générale du projet. Enfin, les deuxièmes RCE2 et 3 peuvent servir de simulacres de contrôles pour se rassurer sur la conformité du projet et en vérifier la fluidité de mise en œuvre (depuis le déchargement du véhicule de transport jusqu'à sa mise en configuration de vol en vue des contrôles). Il faut dans ce cas prévenir Planète Sciences deux semaines à l'avance afin que les moyens nécessaires soient prévus (salle, matériel, ...).

QUAL8 : Il est possible de gainer les câbles en faisceau et de munir ceux-ci d'anneau en ferrite (selon le signal véhiculé). Détromper le « + » et le « - » pour un signal donné est un minimum, le club peut pousser l'effort jusqu'à différencier tous les connecteurs. Enfin, privilégier des connecteurs robustes aux vibrations (il est possible par exemple de choisir des connecteurs de modélisme comme les JST, qui n'ont pas de système de verrouillage mais sont robustes).

QUAL9 : Les alimentations à découpage sont susceptibles de perturber l'électronique qu'elles alimentent par rayonnement ou par conduction. Il convient de respecter la documentation fournisseur pour limiter ces effets. Dans le cas de perturbations conduites on pourra utiliser en amont des régulateurs linéaires et veiller à la qualité des masses. Dans le cas de perturbations rayonnées, un blindage peut se révéler efficace.

## 11. Sécurité

### 11.1. POINTS GENERAUX

#### REGLES

**SECU1** : 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.

**SECU2** : Il est interdit d'embarquer à bord des fusées des produits pouvant être dangereux.

**SECU3** : Il est interdit d'embarquer à bord des fusées des animaux morts ou vivants.

**SECU4** : 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 l'allumage du dernier moteur. Il est enfin interdit d'installer un récepteur de télémessure en tente pyrotechnique.

**SECU5** : Le club doit fournir pour la deuxième RCE2 les portées balistiques correspondant aux profils de vol ci-après :

| Etage                         | Etage 1               | Ensemble              | Etage 2               |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Séparation                    | Oui                   | Non                   | Oui                   |
| Moteur 1 <sup>er</sup> étage  | Actif                 | Actif                 | Actif                 |
| Moteur 2 <sup>ème</sup> étage | Inactif               | Inactif               | Actif                 |
| Portée rampe à 80°            | A fournir par le club | A fournir par le club | A fournir par le club |
| Portée rampe à 45°            | A fournir par le club | A fournir par le club | A fournir par le club |

**SECU6** : 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, [R9]).

**SECU21** : Le projet doit respecter le gabarit de vol.**SECU22**: Le projet ne pourra être mis en œuvre que dans des conditions météorologiques garantissant sa visibilité depuis le sol au moment de la mise à feu du moteur du deuxième étage.

**CONTROLES**

SECU5 : Vérification de l'existence d'un document renseignant les portées demandées.

SECU6 : Vérification à l'aide de l'outil de trajectographie de Planète Sciences.

SECU21 : La vérification est faite en amont de la campagne par le CNES à l'aide des portées balistiques calculées pour un lancement à 80° et 45°. Une ultime vérification pour les projets sensibles est conduite lors de la campagne par le responsable sauvegarde du CNES.

SECU22 : La visibilité verticale nécessaire sera estimée à l'aide de l'outil de trajectographie de Planète Sciences ; la visibilité verticale effective sera estimée grâce aux observations météorologiques.

**EXPLICATIONS**

SECU5 : Il est essentiel de s'assurer via les données demandées que le gabarit de vol soit respecté, garantissant ainsi la compatibilité entre le projet et le terrain. Ces données sont demandées assez tôt pour donner au club l'opportunité de modifier la définition du projet avant la campagne de lancement. Dans le cas d'un projet bi-étage, il faut s'assurer que tous les scénarios de vols ne sortent pas du gabarit de vol.

SECU6 : Cette altitude correspond à l'espace aérien disponible sans remettre en cause le trafic aérien. Les rampes de lancement ont une inclinaison réglable entre 75 et 85°.

SECU21 : Le but est de donner un maximum de souplesse à l'organisation de la campagne de lancement ; un projet estimé respectant le gabarit de vol ne nécessite aucune condition particulière pour le plan d'opérations. Cf. [R10] pour plus de détails sur le modèle de sauvegarde établi par le CNES.

SECU22 : Les membres de l'organisation de la campagne de lancements ainsi que le public doivent pouvoir anticiper la trajectoire prise par le deuxième étage moteur allumé, afin de s'en écarter si nécessaire. Les observations météorologiques peuvent provenir des aéroports voisins ou bien de l'observation in situ (lancement d'une fusée dont l'altitude d'apogée est connue pour estimer la hauteur du plafond par exemple).

**RECOMMANDATIONS**

SECU5 : Il est conseillé de surveiller le profil de vol à l'aide de l'onglet sauvegarde de l'outil de trajectographie de Planète Sciences dès le commencement du projet, et ce tout au long de celui-ci.

SECU6 : Idem. Si ces deux règles sont difficiles à valider, changer de moteur pour un moins puissant ou lester l'un des deux étages ou l'ensemble pourrait être nécessaire.

SECU21 : Idem.

SECU22 : Idem. Favoriser un profil de mission permettant de ne pas dépendre d'une météo « idéale ».

### 11.3. SYSTEMES PYROTECHNIQUES

On s'intéresse ici au système qui déclenche l'éjection du ralentisseur.

| REGLES |
|--------|
|--------|

**SECU7** : 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.

**SECU8** : 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.

**SECU9** : 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.

**SECU10** : Pour les systèmes éjectant des éléments, une protection mécanique (chaîne, bandeau) doit empêcher leur sortie normale en cas de déclenchement pendant les manipulations.

### 11.5. SYSTEMES PNEUMATIQUES

On s'intéresse ici au système qui déclenche l'éjection du ralentisseur.

#### REGLES

**SECU11** : Les gaz comprimés utilisés comme source d'énergie ou comme vecteur d'énergie doivent être ininflammables.

**SECU12** : Les réservoirs de gaz comprimés doivent être équipés d'une purge permettant de les vidanger indépendamment du fonctionnement du système qu'ils alimentent et ce depuis l'extérieur de la fusée, sans démontage.

**SECU13** :  $CS \geq 2$

où CS est le coefficient de sécurité (rapport entre la valeur maximale que peut supporter un équipement et la valeur normale).

**SECU14** : 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.

**SECU15** : 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.

**SECU16** : Les systèmes pneumatiques ne doivent pas éjecter de pièces à l'extérieur de la fusée.

**SECU17** : 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.

**11.7. SECURITE ELECTRIQUE****REGLES**

**SECU18** : La ligne de mise à feu du moteur du premier étage est inaccessible à tout système embarqué (initialisation et expérience).

**SECU19** : Les différences de potentiels électriques supérieures à 30V sont interdites dans la fusée.

**11.9. SECURITE DE L'INFORMATION****REGLES**

**SECU20** : Sur certains sites de lancement, l'utilisation de caméra ou d'appareil photo peut être proscrite. Se renseigner auprès de PLANETE SCIENCES.

## 12. Mise en œuvre

### 12.1. COMPATIBILITE RAMPE

#### REGLES

**CR1** : La fusée doit être compatible avec la rampe rail dont les caractéristiques figurent ci-dessous :

| Rampe           | longueur<br>maxi (mm) | Ø mini<br>(mm) | Ø maxi<br>(mm) | envergure<br>maxi (mm) | largeur patin<br>(mm) | masse maxi de la<br>fusée (kg) | nombre<br>d'ailerons |
|-----------------|-----------------------|----------------|----------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Toutatis - rail | 5000 ou 7000          | Sans objet     | Sans objet     | 600                    | Cf. Figure 2          | 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.

**CR2** : Les zones devant être accessibles (interrupteurs, voyants, prise d'initialisation, ...) doivent se trouver à plus de 20° de l'alignement du rail.

**CR3** : D'éventuels éléments éjectés doivent se trouver dans une zone accessible autre que celle de signalisation ou de mise en œuvre.

**CR4** : La fusée doit être prévue pour être introduite horizontalement dans la rampe.

**CR5** : Angle des cordons arrachables : 5 à 30°.

**CR6** : Les interrupteurs de mise en œuvre doivent être accessibles de l'extérieur de la fusée, sans démontage.

**CR7** : Les patins doivent être de longueurs adéquates pour que l'axe de la fusée soit parallèle à l'axe du rail. Chaque étage doit être muni d'au moins deux patins.

**CR8** : La fusée doit être équipée de patins permettant de guider la fusée le long du rail. Les patins devront résister aux efforts transverses. Les efforts sont déterminés de manière suivante :

$$F_{\text{totale}} = F_{\text{propulsion}} + F_{\text{aero}}$$

Où

$$F_{\text{propulsion}} = \text{Poussée Max} * \sin(2^\circ)$$

$$F_{\text{aero}} = 0.5 * \rho_0 * C_x * S * V^2 \quad (C_x = 1, S = S_{\text{corps}} + S_{\text{aileron}}, V = 10 \text{ m/s})$$

#### CONTROLES

Mesures et pesées correspondantes.

## EXPLICATIONS

CR1 : D'autres rampes de type cage sont disponibles mais ne permettent pas de manipuler le moteur du deuxième étage ni de procéder à l'éventuel assemblage entre les deux étages dans de bonnes conditions.

CR7 : Chaque étage doit pouvoir être manipulé le long du rail sans qu'un membre club ou un pyrotechnicien n'ait à en soutenir le poids.

CR8 : Pour assurer le guidage de la fusée, les patins doivent résister à un désaxage de la poussée. L'angle de désaxage est forfaitairement fixé à 2°. Les patins devront également résister aux efforts générés par le vent et les rafales de vent. Dans ce cas la surface à prendre en compte est la surface projetée sur un plan du corps de la fusée (dont la surface de deux ailerons si la fusée en a 4, sinon la surface projetée correspondante si la fusée a 3 ailerons).. La vitesse du vent est forfaitairement fixée à 10 m/s. Le coefficient aérodynamique  $C_x$  à prendre en compte est égal à 1.

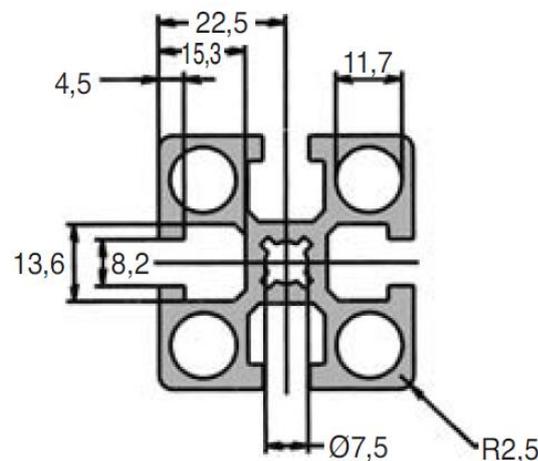


Figure 2: Plan de la rampe rail

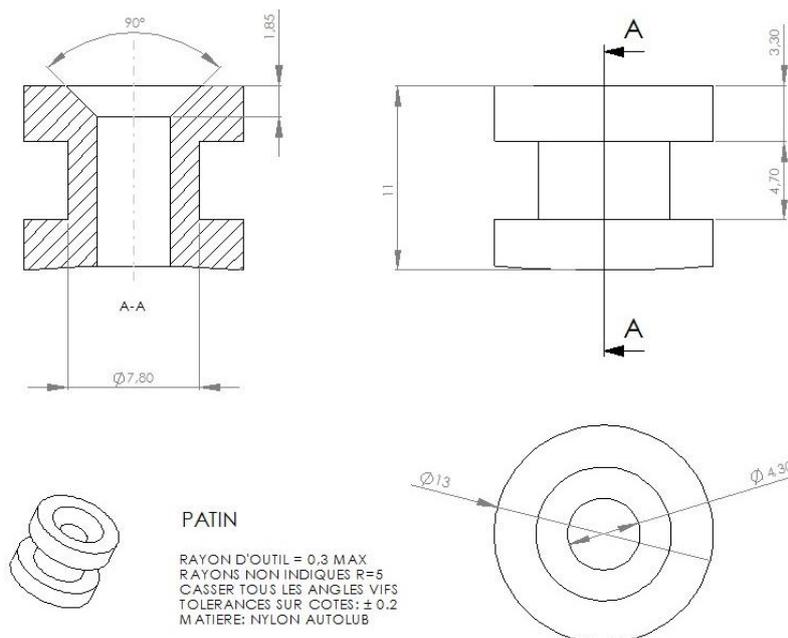


Figure 3: Exemple de patin fixé par une vis M4 tête fraisée

## 12.2. COMPATIBILITE PROPULSEUR

## REGLES

**CP1** : Le propulseur doit entrainer l'étage en reprenant la poussée soit par le haut, soit par le bas. Voir [R6].

**CP2** : Les propulseurs doivent être guidés par la partie cylindrique du casing.

**CP3** : 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.

**CP4** : 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 »). La bride du moteur du deuxième étage doit lui permettre de tenir en traction sous l'accélération maximale rencontrée pendant le vol :  $F = 2 \times \text{Accélération Max} \times M_{\text{propuplein}}$  (en NEWTON) où  $M_{\text{propuplein}}$  est la masse du moteur avec son chargement (numériquement la masse en kg et l'accélération en  $\text{m/s}^2$  donnent  $F$  en Newton).

**CP5** : Le défaut d'alignement entre le propulseur et le corps de la fusée doit être inférieur à  $1^\circ$ .

**CP6** : Un volume d'accès doit être disponible autour du propulseur du deuxième étage pendant les manipulations en rampe, voir Figure 4 : Volume d'accès au moteur du deuxième étage ci-dessous.

| Moteur   | Dimensions minimales du volume d'accès |                   |                    |
|----------|--|-------------------|--------------------|
|          | Longueur 'L' (mm)                      | Diamètre 'D' (mm) | Angle $\alpha$ (°) |
| Cariacou | 148                                    | 100               | 90                 |
| Pro54    | 775                                    | 130               | 90                 |
| Pro75    | 810                                    | 150               | 90                 |

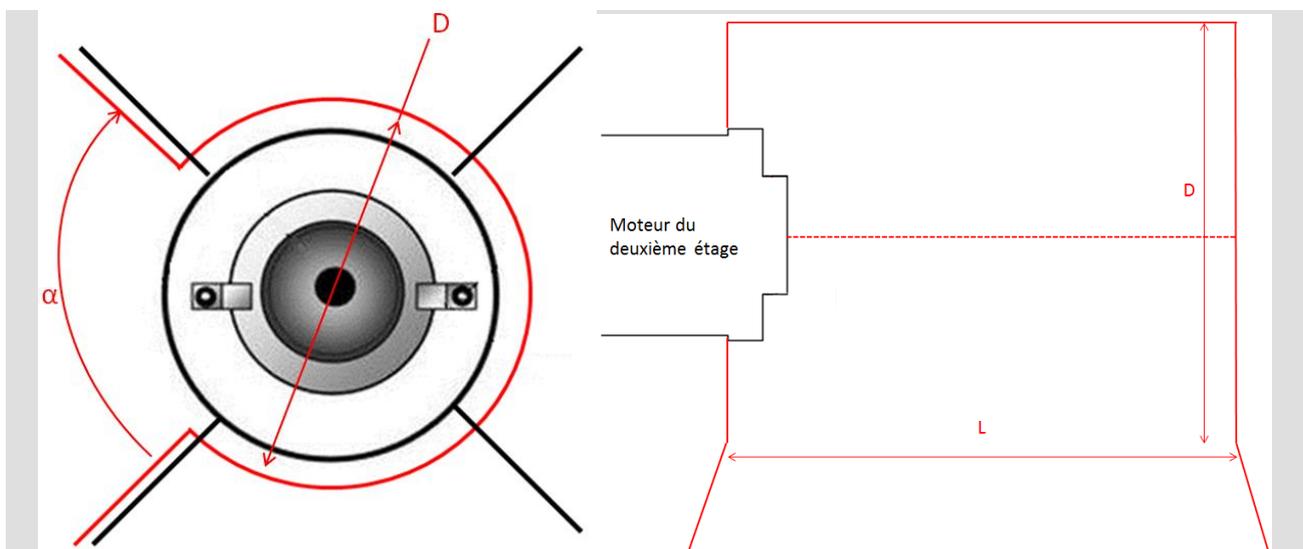


Figure 4 : Volume d'accès au moteur du deuxième étage

**CP7** : Le moteur du deuxième étage doit se trouver dans une enceinte dans laquelle des événements d'une surface totale égale ou supérieure à  $DMoteur^2/4$  sont pratiqués. Ces événements ne doivent pas créer de poussée et doivent pour cela être diamétralement opposés deux à deux. Ces événements doivent être situés à plus de  $20^\circ$  de la rampe autour de l'axe longitudinal de l'étage.

**CP8** : Un volume utile doit être prévu autour de la tuyère du moteur du deuxième étage pour son bouchon de retenue de la canne d'allumage lorsque les deux étages sont assemblés. Ce volume est un cylindre centré sur la tuyère, voir dimensions selon les moteurs (cf. Figure 5) :

| Moteur   | Dimensions du volume utile (mm) |          |
|----------|---------------------------------|----------|
|          | Hauteur                         | Diamètre |
| Cariacou | 38                              | 25       |
| Pro54    | 29                              | 46       |
| Pro75    | 27                              | 70       |

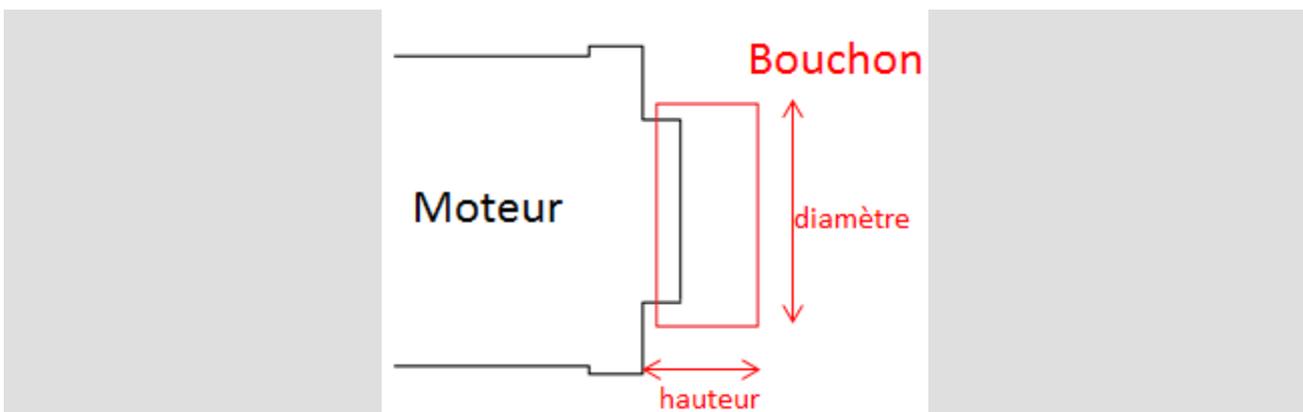


Figure 5 : Bouchon de retenue de la canne d'allumage

**CP9** : Le moteur du deuxième étage ne doit pas pouvoir coulisser verticalement dans son logement d'un jeu ( $j_1$  sur la figure5) supérieur à 1mm.

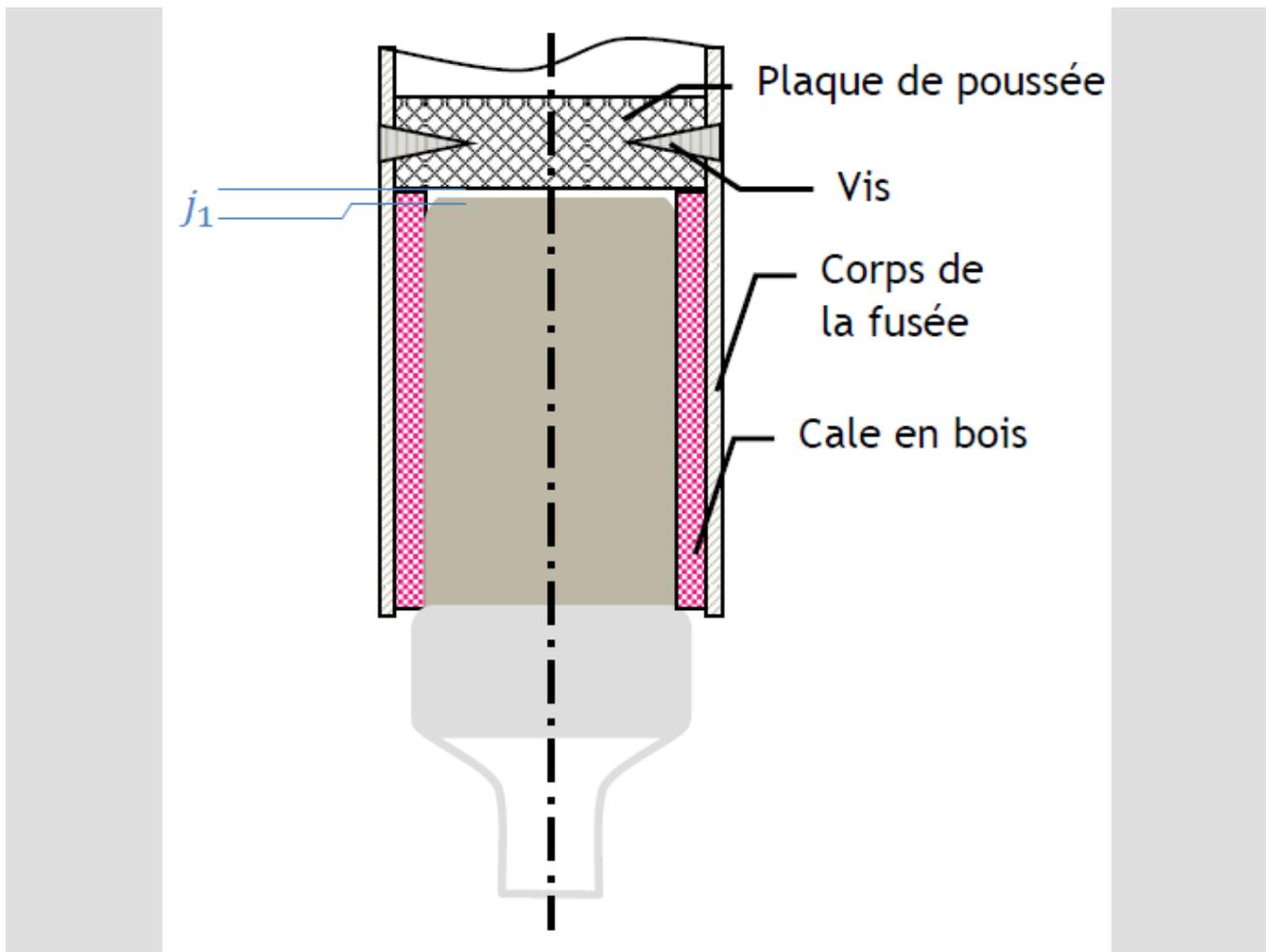


Figure 6 : jeu vertical du moteur du deuxième étage

**CP10** : Le point de masse mécanique relié à la masse électrique doit être relié à la plaque de poussée dans le cas d'une reprise de poussée par le bas, ou pas la bague de centrage inférieure qui devra être conductrice sinon, et le dispositif de retenu du moteur doit permettre aux pyrotechniciens d'y connecter une pince crocodile.

#### CONTROLES

CP3 : Pour le premier étage, on vérifiera qu'il laisse le dégagement nécessaire aux opérations pyrotechniques.

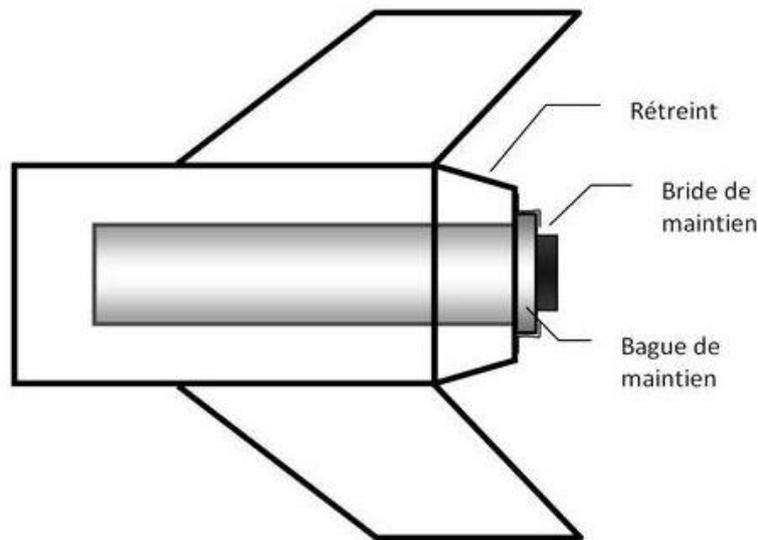


Figure 7: Maintien propulseur

CP4 : Pour contrôler la tenue en traction de cet élément de la fusée, on applique sur cet élément une force  $F = 2 \times \text{Accélération Max} \times M_{\text{propuplein}}$ , où  $M_{\text{propuplein}}$  est la masse du moteur avec son chargement.

CP5 : Les cotes entre l'alésage du propulseur et les emplantures de chaque aileron sur la bague ou l'élément structural le plus bas sur le corps de la fusée seront mesurées (cf.figure 8); les écarts de mesure (i.e. différence entre deux cotes) devront tous être inférieurs à 1cm lorsque la fusée est entièrement assemblée (ce qui correspond à un décalage d'environ  $1^\circ$  pour les Pro54 et Pro75).

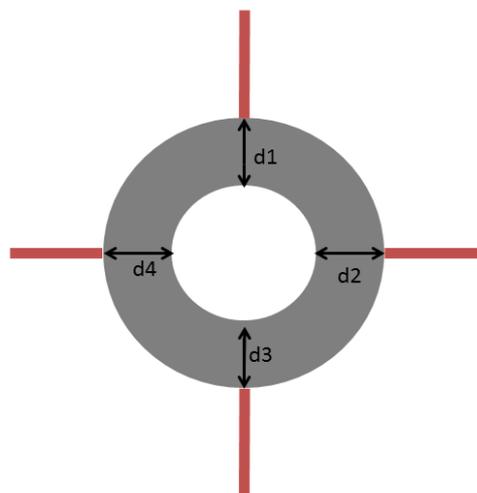


Figure 8 : Alignement du propulseur

CP6 : Mesures correspondantes.

CP7 : Vérification de la présence d'évents ou d'ouverture similaire au niveau de la tuyère du moteur du deuxième étage, et mesure de celles-ci.

CP8, 9 : Mesures correspondantes.

CP10 : Schéma et vérification

|                     |
|---------------------|
| <b>EXPLICATIONS</b> |
|---------------------|

CP3 : La mise en place de la bride par les pyrotechniciens est facilitée par le dégagement de la bague du propulseur

CP4 : Le choix des vis standard 6 pans a été fait dans le but de standardiser autant que faire se peut l'outillage des pyrotechniciens.

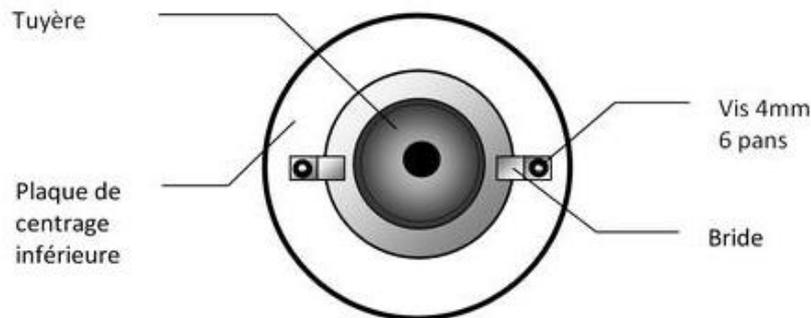


Figure 9: Bride de maintien du propulseur

Dans le cas du deuxième étage tout particulièrement, il faut vérifier que son propulseur ne risque pas d'être décroché pendant le vol avant son allumage.

CP6 : Pendant la mise en place du moteur du second étage, le pyrotechnicien a besoin d'un espace suffisant à l'arrière du propulseur pour le mettre en place ainsi que la canne d'allumage.. La longueur de ce volume a été définie comme 1.5 fois la longueur du moteur.

CP7 : En cas d'allumage intempestif, il faut éviter la mise sous pression et l'explosion de l'interface inter-étage, ni ne créer de poussée dissymétrique au sol ou pendant le vol. Il faut donc orienter les gaz chauds vers l'extérieur par des événements suffisamment grands, en annulant les poussées entre elles. Les diamètres des moteurs sont renseignés dans le document [R6].

CP8 : Ce volume est dédié au bouchon de retenue de la canne d'allumage. Ce bouchon, au travers duquel passent les fils de l'inflamateur, ne doit pas être contraint lorsque les étages sont assemblés, ni arrachés lorsque les deux étages se séparent. Ce volume tient compte de marges géométriques, de sorte que le club n'ai pas besoin d'en prendre en compte des supplémentaires.

CP9 : Un jeu trop important pourrait induire un choc lors de l'allumage susceptible de fissurer le bloc de propergol.

CP10 : La pince crocodile sert à relier la masse mécanique de la fusée à celle de la rampe.

|                        |
|------------------------|
| <b>RECOMMANDATIONS</b> |
|------------------------|

CP6 : Ce volume peut être créé par la séparation des deux étages. Pour faciliter la mise en œuvre pyrotechnique, il est recommandé :

- d'éloigner les ailerons de cette zone autant que possible
- de minimiser la flèche structurale pouvant gêner le réassemblage des deux étages.

CP7 : On peut préférer une architecture ouverte, à base de treillis, pour assurer ce point.

CP8 : Il n'est pas utile de prévoir de moyen de fixation pour ce bouchon, il est fixé sur le moteur lui-même.

CP9 : Il est aussi possible d'intercaler un matériau amortisseur entre le moteur et la plaque de poussée.

### 12.3. CHRONOLOGIE

#### REGLES

**CHRONO1** : Le club doit établir assez tôt une « check-list » très détaillée, présentée chronologiquement, de la mise en œuvre de la fusée. Cette chronologie doit expliciter non seulement les actions effectuées par les membres club, mais aussi par le pyrotechnicien s'il y a lieu, cf. [R8] et les extraits de l'EST en annexe.

**CHRONO2** : 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. Le vol simulé sera effectué en présence du pyrotechnicien qui fera la mise en œuvre.

**CHRONO3** : Il doit être possible de déterminer facilement à quel instant la séparation des étages est effective.

**CHRONO4** : Pour les fusées utilisant une séparation froide, un premier vol de contrôle, avec un moteur inactif au deuxième étage, doit permettre de vérifier les règles CHRONO 5 à 8 incluses.

**CHRONO5** : L'attitude du deuxième étage ne doit pas être dangereuse à l'instant d'allumage du moteur du deuxième étage, quel que soit son mode de séparation (chaud ou froid). Cet instant doit pouvoir être chronométré soit du sol, soit du bord et enregistré ou transmis au sol.

**CHRONO6** : Les mesures d'attitude doivent recouper les observations faites depuis le sol (photographies et vidéos) et la trajectoire anticipée par le simulateur de trajectographie de Planète Sciences.

**CHRONO7** : Il est nécessaire de repasser les contrôles suivants avant le vol actif, qui doit avoir lieu lors de la même campagne de lancement : MEC1 à 9, CHRONO2 et 9, ORDRE5, CR8, REC10, et si estimé nécessaire par le contrôleur STAB1 à 8, CR1 à 7, CP1 à 8.

**CHRONO8** : La mise en place de la sécurité pyrotechnique marque le début des opérations pyrotechniques ; les membres du club doivent donc avoir quitté la zone rampe à l'issue de cette action. Il est donc recommandé de concevoir une fusée qui limite autant que faire se peut les manipulations spécifiques après cette phase (hors manipulations pyrotechniques et assemblage des deux étages si il y a lieu)

**CHRONO9** : La séparation inter étage doit pouvoir être testée au sol, en utilisant si besoin un équipement dédié ; si une telle démonstration n'est pas possible ou est dangereuse pour les personnes présentes, une justification de son bon fonctionnement doit être fournie au contrôleur.

**CHRONO10** : La chronologie doit contenir l'état attendu des moyens de signalisation relatifs aux règles MAF5 et ORDRE2.

|                  |
|------------------|
| <b>CONTROLES</b> |
|------------------|

CHRONO1 : Vérification lors de la deuxième RCE3 qu'une telle chronologie existe et respectent les contraintes énoncées. Validation lors des contrôles pendant le C'Space. Le club doit fournir 4 exemplaires de la chronologie de lancement pour les responsables de la zone de lancement.

CHRONO2 : Le vol simulé aura lieu lorsque tous les autres contrôles auront été effectués et validés. Il suivra la chronologie de lancement établie par le club en présence des pyrotechniciens qui participeront en simulant leurs propres actions.

CHRONO3 : Cette donnée doit être disponible pour évaluer le fonctionnement du système de séparation inter étage.

CHRONO4 : Une fois les contrôles passés avec succès, l'ensemble sera lancé avec un moteur inerte au deuxième étage. Les mesures d'attitude et l'état des différentes barrières de sécurité de la ligne de mise à feu du deuxième étage doivent être transmis au sol ou enregistrés à bord. Si les règles CHRONO5, et 6 ne sont pas respectées (si les mesures sont incorrectes ou bien si les mesures n'ont pu être transmises par télémesure ni enregistrées à bord), il est nécessaire de repasser l'intégralité des contrôles, vol simulé et vol inerte compris.

CHRONO5 : L'attitude de la fusée devra être exprimée dans un repère cartésien direct liés aux axes principaux de la rampe. L'intervalle de valeurs d'attitude à utiliser comme critère et le moyen de détection de l'allumage de l'inflamateur seront proposés par le club pour la première RCE2 et approuvés ou modifiés par la commission technique CNES / Planète Sciences. Il sera vérifié sur les photographies, vidéos, mesures enregistrées à bord et/ou transmises par télémesure lors du vol de contrôle... Que cette attitude ne dépasse pas la borne ainsi définie.

CHRONO6 : Les données mesurées seront comparées entre elles et à l'estimation du logiciel de trajectographie de Planète Sciences. Ces trois séries de données doivent être identiques aux erreurs de mesure près.

CHRONO7 : L'ensemble des contrôles, le vol simulé et le vol de contrôle inactif validés ne sont valables que pour la campagne de lancement en cours. La fiche de contrôle comprend une partie spécifique allouée aux contrôles post-vol inerte. Les cas où le vol actif est prévu pendant une campagne de lancement différente que celle où le vol de contrôle inactif a eu lieu seront vus au cas par cas par la commission technique CNES / Planète Sciences.

CHRONO8 : Vérification de la chronologie.

CHRONO9 : Selon les spécificités du projet.

CHRONO10 : Vérification lors des contrôles que la chronologie contient bien les informations nécessaires.

**EXPLICATIONS**

CHRONO1 : La chronologie doit expliciter aussi clairement que possible les opérations que devra réaliser le pyrotechnicien une fois que le club aura quitté la zone rampe (s'il y a lieu). Les exemplaires demandés permettront aux responsables de la zone de lancement (tente Jupiter) de suivre les opérations du club en temps réel.

CHRONO3 : Le moyen de mesure peut être soit embarqué soit un moyen sol.

CHRONO4 : Le système de séparation et le système de vérification de l'attitude, pour ne citer que ces deux exemples, ne peuvent être testés au sol dans des conditions satisfaisantes. Un tel vol de contrôle permet donc de s'assurer au maximum du fonctionnement nominal du projet avant de le mettre en œuvre avec un moteur actif au deuxième étage.

CHRONO5 : Ce vol de contrôle doit permettre de conclure que l'attitude du deuxième étage ne devient pas dangereuse entre l'instant où la séparation est effective et l'instant d'allumage du moteur du deuxième étage.

CHRONO6 : Quel que soit le moyen de mesurer l'attitude utilisé par le projet, celui-ci ne peut être testé convenablement qu'en vol.

CHRONO7 : Il est possible que certains sous-systèmes soient endommagés ou déformés au point de remettre en cause leur fonctionnement nominal par la suite. D'une année sur l'autre, la configuration du projet pourrait évoluer (améliorations, maintenance, mises à jour des codes embarqués...); il paraît donc prudent de considérer le projet comme « nouveau » et de repasser l'intégralité des contrôles, vols simulé et inerte compris.

CHRONO8 : Les membres clubs ne sont pas autorisés en zone rampe après le début des opérations pyrotechniques. Les opérations non pyrotechniques éventuellement à effectuer devront donc être effectuées par le pyrotechnicien, peu familier du projet. Noter qu'avant de retirer la sécurité pyrotechnique, le pyrotechnicien vérifiera l'absence de son provenant du buzzer (cf. MAF3).

CHRONO9 : Le vol inerte paraît nécessaire pour valider complètement ce système. Cependant, selon la solution technologique choisie, le bon fonctionnement au sol peut en assurer le bon fonctionnement en vol.

CHRONO10 : Il sera d'autant plus facile et rapide de procéder aux « débogage » et aux contrôles si l'on dispose de ces informations.

**RECOMMANDATIONS**

CHRONO1 : Vérifier avec Planète Sciences la disponibilité des imprimantes pendant le C'Space.

CHRONO2 : Mener ce vol simulé de la façon la plus réaliste possible, en se basant si nécessaire sur des mécaniques de jeux de rôles pour immerger tant les membres club que les pyrotechniciens.

CHRONO3 : Il est plus que déconseillé de supposer que la séparation sera effective après une certaine durée, car l'attitude du deuxième étage pourrait s'être dégradée dans l'intervalle. Il est possible de se reposer sur le Pro54 fumigène pour remplir cette fonction (voir plus bas).

CHRONO4 : Il est chaudement recommandé de prévoir des pièces de rechange (ailerons, ogive, antenne de télémétrie si nécessaire et autres pièces risquant d'être endommagées à l'issue du premier vol) pour garantir une remise en condition de vol rapide pour le second vol. Une enveloppe vide de Pro54 a été transformée en moteur simulé à l'aide d'un pot fumigène, pouvant servir pour le vol inerte au deuxième étage et ainsi constater de visu l'instant effectif de la mise à feu sans pour autant créer de poussée. La compatibilité propulseur (mécanique et inflammateur utilisé) est identique à celle d'un Pro54 classique ; se rapprocher de Planète Sciences pour obtenir les informations relatives à sa masse avant et après combustion du fumigène. L'adaptation du fumigène à une autre enveloppe (Pro75 par exemple) est également envisageable ; se rapprocher de Planète Sciences avant la RCE2 pour une telle demande. CHRONO5 : En essai au sol, le deuxième étage sort complètement et franchement du premier ; il est possible de surdimensionner l'actionneur de la séparation, de limiter la profondeur d'emboîtement entre les deux étages, de ne pas recourir à des systèmes qui se coincent ou se grippent...

CHRONO6 : Il est possible de recourir à un fumigène ou à un traceur pour mieux visualiser la trajectoire depuis le sol.

CHRONO7 : Il est conseillé de se reposer sur le retour d'expérience et des technologies éprouvées pour faciliter la phase de requalification. Ici encore un très fort avancement lors de la deuxième RCE3 ne peut que faciliter les opérations en campagne.

CHRONO8 : Si des opérations sont nécessaires une fois que le club a quitté la zone rampe, elles doivent être aussi peu nombreuses que possible et suffisamment rapides et simples pour être effectuées par le pyrotechnicien seul, mains gantées. Il est préférable d'anticiper cette phase des opérations pour ne laisser que le strict minimum à faire au pyrotechnicien. Il est possible par exemple, de demander au pyrotechnicien de vérifier l'état de la sécurité rampe (via la signalisation installée par le club) pour s'assurer qu'il n'y a pas eu d'arrachage intempestif d'un connecteur

CHRONO9 : S'inspirer des contrôles des récupérations en séparation transversale : la séparation doit être franche et totale.

CHRONO10 : Anticiper la phase de mise en œuvre dès la conception pour opérer un projet « ergonomique ».

## 13. Ligne de mise à feu du deuxième étage

### 13.1. SPECIFICATIONS GLOBALES

Ce paragraphe décrit les spécifications électriques et mécaniques du dispositif de mise à feu du second étage. Ce dispositif doit permettre :

- De sécuriser les opérations pyrotechniques au sol conformément à l'EST (cf. 0)
- De garantir un vol nominal de la fusée, en particulier son étage supérieur

L'ordre de mise à feu, implémenté par le club, doit sécuriser le vol ; les autres barrières de sécurité demandées sécurisent les opérations sol, et notamment pendant les manipulations pyrotechniques (en rapport avec l'analyse de sûreté de fonctionnement) que ce soit lors des opérations de préparation ou lors de la récupération du projet sans allumage du second étage.

Notez que chacun des organes de la figure 10 est détaillé dans les paragraphes suivants.

## REGLES

**MAF1** : La mise à feu du moteur du deuxième étage doit se faire grâce à un inflammateur « moyenne énergie » fourni par le CNES.

**MAF2** : La ligne de mise à feu du moteur du deuxième étage doit comprendre, au minimum les 3 barrières de sécurité ci-après :

- Un interrupteur d'alimentation
- Un ordre de mise à feu
- Un shunt sur l'inflammateur

Ces 3 sécurités doivent pouvoir inhiber les deux lignes d'alimentation de l'inflammateur

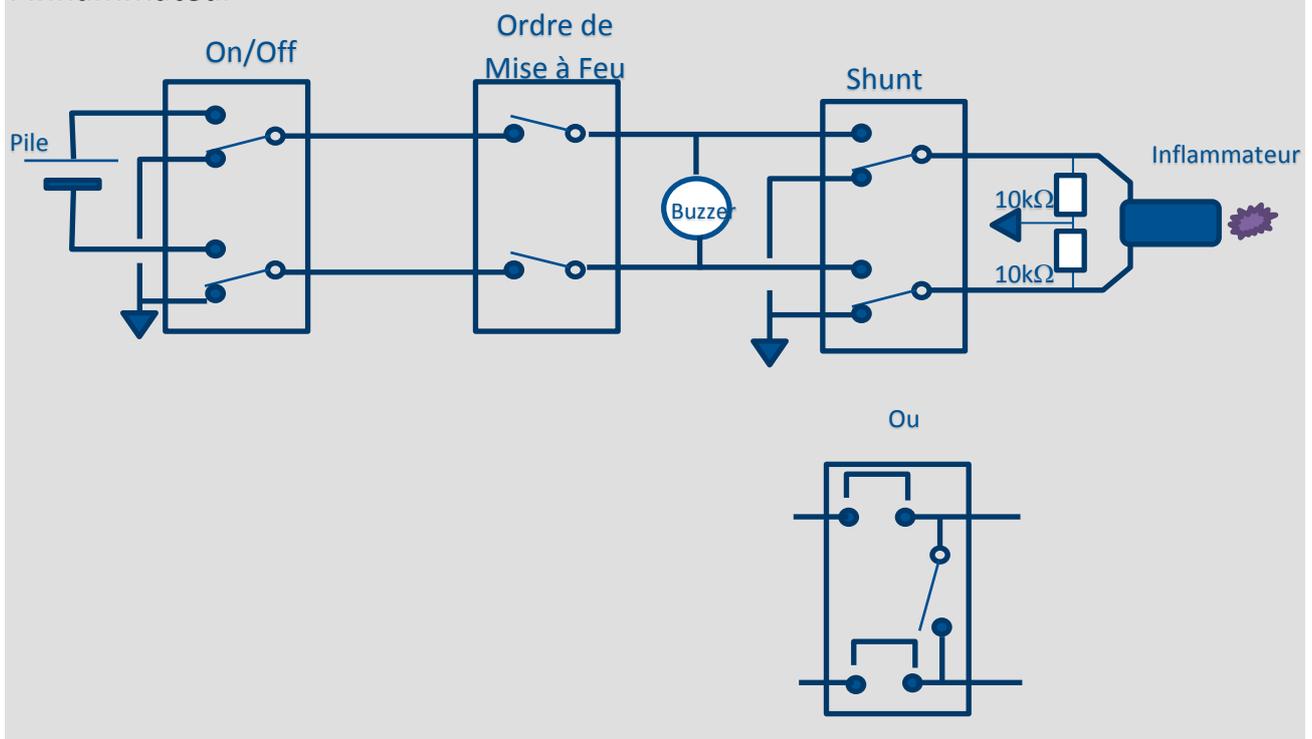


Figure 10 : Synoptique de la ligne de mise à feu du deuxième étage

**MAF3** : Un buzzer doit être actionné lorsque l'interrupteur et l'ordre autorisent la mise à feu.

**MAF4** : L'alimentation de l'inflammateur doit être indépendante de toute autre source d'énergie à bord de la fusée, y compris de l'ordre de mise à feu.

**MAF5** : Signalisation : Pour des besoins de tests au sol pendant les contrôles, trois informations doivent être données explicitement (position claire des interrupteurs, voyant, buzzer, ...) :

-ligne de mise à feu sous tension ou hors tension

-ligne de mise à feu active (la fusée a décollé) ou inactive (la fusée attend le décollage)

-inflammateur actif (allumage commandée) ou inactif (allumage non commandée).

**MAF6** : Le volume de l'inter étage doit permettre de loger le système de connexion de l'inflammateur et suffisamment de longueur de câble pour pouvoir extraire l'inflammateur du fond du propulseur sans le déconnecter ; ce volume doit être sans aspérités ni rebords tranchants.

**MAF7** : Tous les équipements non relatifs à la ligne de mise à feu à retirer en zone rampe (« Remove before flight », jacks...) doivent être de la même couleur (ex. mauve) ; tous les équipements relatifs à la ligne de mise à feu à manipuler en zone rampe (« Remove before flight », jacks, interrupteurs...) par le pyrotechnicien doivent être d'une couleur identique différente de celle précédemment évoquée (ex. rouge).

**MAF8** : En cas d'absence de signal venant de la carte de mise à feu (reformuler), la mise à feu du moteur du deuxième étage doit être interdite.

**MAF9** : Le club doit réaliser les plans de la ligne de mise à feu, ordre compris, et du cablage en veillant à bien identifier la connexion à la masse mécanique et les soumettre à la 2<sup>ème</sup> RCE. Le club doit fournir par ailleurs une liste de tests (cf. matrice d'essai en Annexe 3) à réaliser permettant de simuler les différents cas de panne et ainsi de valider le fonctionnement de chaque organe de la ligne de mise à feu et mentionnant clairement les sorties attendues (état des moyens de signalisation tels que delts, buzzer, etc...).

## CONTROLES

**MAF1** : Vérification lors des contrôles que la ligne de mise à feu est bien capable de faire détonner un inflammateur moyenne énergie. L'inflammateur utilisé pour le vol n'est manipulé que par le pyrotechnicien. Les essais nécessaires avec les inflammateurs réels se dérouleront en présence d'un pyrotechnicien du CNES.

**MAF2** : Contrôle lors de la deuxième RCE3 et de la campagne de lancement des différentes sécurités sur la base du schéma.

**MAF3** : Contrôle lors de la deuxième RCE3 et de la campagne de lancement des différentes sécurités sur la base du schéma et par test (on vérifie que chaque sécurité assure indépendamment la non mise à feu – cf. liste de tests définie en MAF9). Un infla-test sera fourni par Planète Sciences, si du matériel supplémentaire est nécessaire (prises jack, code simulant une intégrale de poussée...) le club devra les fournir. Le test de chaque barrière sera effectué 2 fois.

**MAF3** : On vérifiera lors des contrôles que le buzzer sonne bien dans ces conditions.  
**MAF4** : On vérifiera sur les plans électroniques que la « commande » (l'ordre de mise à feu) et la « puissance » (source d'énergie alimentant l'inflammateur) sont bien indépendantes.

Contrôlé au travers des autres tests. MAF6 : Un pyrotechnicien contrôlera que la longueur de câble nécessaire (au moins une fois et demie la longueur du propulseur) peut effectivement être logée sans danger dans ce volume.

MAF7 : Contrôle de la chronologie et de la couleur des équipements.

MAF8 : Contrôles des schémas électroniques, des codes de programmations.

MAF9 : Fournir, dans le dossier de conception, un dossier complet sur la ligne de mise à feu, c'est-à-dire :

- schéma fonctionnel
- schéma électronique avec valeurs des signaux d'entrées/sorties
- routage et implantation des composants
- schéma de câblage
- documentation des différents composants utilisés
- formule reliant le temps des éventuelles fenêtres temporelles aux valeurs des composants utilisés

|                     |
|---------------------|
| <b>EXPLICATIONS</b> |
|---------------------|

MAF1 : Seuls ces inflammateurs garantissent un allumage nominal des moteurs fournis. Ils nécessitent cependant la présence d'un pyrotechnicien.

MAF2 : Le moteur ne doit pas s'allumer au sol ni en vol lorsque l'attitude de la fusée, son altitude, ou le séquentiel est non conforme à (cf. ORDRE2). La réglementation pyrotechnique impose un minimum de trois sécurités.

MAF3 : Il faut pouvoir avertir le pyrotechnicien lorsque ce cas dégradé se produit pendant ses manipulations. Un buzzer est beaucoup plus efficace qu'un voyant pour signifier un danger sur rampe.

MAF6 : Pour introduire l'inflammateur dans le moteur, il est nécessaire de disposer d'une longueur de fil suffisante. Une fois l'inflammateur mis en place, cette longueur de fil doit pouvoir être logée sans risques d'arrachement ni de découpe intempestive dans l'inter-étage. Cela permet de plus de s'assurer que la canne d'allumage (une tige en balsa insérée dans le canal du propergol) bénéficiera d'un dégagement suffisant pour être éjecté lors de l'allumage du moteur

MAF7 : Le but est de fiabiliser la phase de mise en oeuvre du projet.

MAF8 : Le but est de s'assurer que si un fil ou un contact est rompu accidentellement, l'état communiqué est la non mise à feu. Concrètement, si un câblage est sectionné ou une piste rompue, la mise à feu ne doit pas être commandée.

MAF9 : Ces informations serviront au suivi du projet.

|                        |
|------------------------|
| <b>RECOMMANDATIONS</b> |
|------------------------|

MAF1 : Respecter à la lettre les règles relatives à l'emploi de ces inflammateurs ci-après ; formuler à l'avance auprès de Planète Sciences et du CNES la demande d'en utiliser un lors d'une RCE à des fins de tests.

MAF2 : Etablir des représentations schématiques aussi claires et exhaustives que possible pour en faciliter le suivi et le contrôle pendant la campagne de lancements. Les actualiser si nécessaire.

MAF3 : Vérifier que ce buzzer est bien audible depuis l'extérieur de la fusée.

MAF5 : Vérifier que les dels sont visibles même en plein soleil, et les buzzers audibles en extérieur.

MAF6 : Surdimensionner le volume utile nécessaire, en ébavurant toutes les arrêtes. Procéder à la vérification avec un pyrotechnicien lors de la deuxième RCE3 pour avoir le temps de faire des éventuelles modifications avant la campagne de lancements.

MAF7 : Limiter au maximum le nombre d'équipements à retirer ou manipuler en rampe. Le moins d'actions il y a à faire en rampe, le moins de défaillances d'origine humaine pourront se produire pendant les opérations, tant de la part des membres du projet que des pyrotechniciens. Inclure dans la chronologie un inventaire des équipements retirés pour s'assurer qu'aucun n'ait été oublié.

MAF9 : Ne pas hésiter à ajouter des explications pour accompagner ces schémas.

### 13.2. SPECIFICATIONS DE L'INFLAMMATEUR

Ce paragraphe décrit les spécifications électriques et mécaniques de l'inflaminateur. L'inflaminateur moyenne énergie (norme MIL I23659) est l'initiateur pyrotechnique fourni par le CNES qui déclenche l'allumage des moteurs.

#### REGLES

**INF1** : Pour détoner, l'inflaminateur doit être alimenté par un courant de 4A pendant 30ms. Sa résistance interne (tant qu'il n'a pas détoné) est de  $1\Omega$ .

**INF2** : Les connecteurs utilisés pour brancher l'inflaminateur doivent être :

- pour les projets utilisant un Pro54, Pro75 ou plus au premier étage: connecteur Amphenol femelle référence fabricant PT02A-8-2S.
- pour les projets utilisant des Cariacou, Pro38 ou moins au premier étage : connecteur Binder femelle référence fabricant 09-9750-30-03.

Le club doit fournir un jeu complet (connecteurs mâle et femelle) pour la deuxième RCE2, en plus du connecteur femelle fixé à la fusée.

**INF3** : Lorsque qu'il n'est pas sollicité, les deux bornes de l'inflaminateur sont reliées à la masse via des résistances de  $10k\Omega$  :

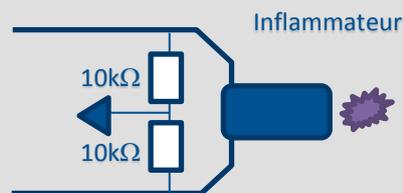


Figure 11 : Mise au neutre des bornes de l'inflaminateur

#### CONTROLES

**INF1** : Le fonctionnement de la ligne de mise à feu sera vérifié lors de la RCE3 et des contrôles à l'aide d'un simulateur d'inflaminateur, puis lors du vol simulé à l'aide d'un inflaminateur réel sécurisé (encapsulé par ex. dans une coque transparente et empêchant les projections)

**INF2** : Fourniture par le club des connecteurs utilisés lors de la deuxième RCE2.

**INF3** : Mesure de la résistance entre chacune des bornes du connecteur de l'inflaminateur et la masse ; ces résistances doivent être identiques.

|                     |
|---------------------|
| <b>EXPLICATIONS</b> |
|---------------------|

INF1 : L'inflamateur est composé d'un fil résistif de faible résistance qui s'échauffe sous l'effet du courant qui le traverse et provoque la combustion d'une amorce. Pour plus détails, voire la norme MIL I23659.

INF2 : L'inflamateur doit pouvoir être connecté facilement et rapidement avec des gants épais et disposer d'un système de verrouillage (pour les minifusées un connecteur moins encombrants mais possédant une grande force d'insertion a été privilégié). Le connecteur imposé côté club permet aux pyrotechniciens de souder l'inflamateur sur le connecteur mâle (en réalisant au préalable un court-circuit à l'aide du connecteur femelle fourni) et de le connecter rapidement. Les fils des inflamateurs (multibrins) ont un diamètre extérieur de 1.3mm et la partie dénudée un diamètre de 0.6mm.

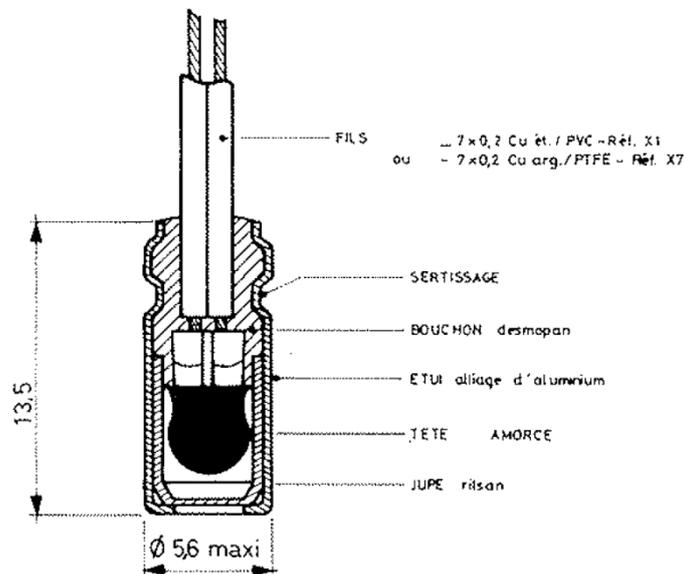


Figure 12 : Inflamateur moyenne énergie

INF3 : Connecter de cette façon le neutre et les bornes de l'inflamateur garantit que le potentiel à ses bornes ne flotte pas lorsque les interrupteurs présents sur la ligne de mise à feu changent d'état.

## RECOMMANDATIONS

INF1 : En se basant sur les caractéristiques de l'inflamateur et la Figure 13, le club peut réaliser son propre infla-test pour réaliser tous les tests nécessaires sans attendre la deuxième RCE3. Ne pas prendre de fusibles temporisés (AM). Pour mesurer le courant qui traverse la ligne de mise à feu et l'inflamateur, brancher un oscilloscope aux bornes de la résistance de  $1.2\Omega$ .

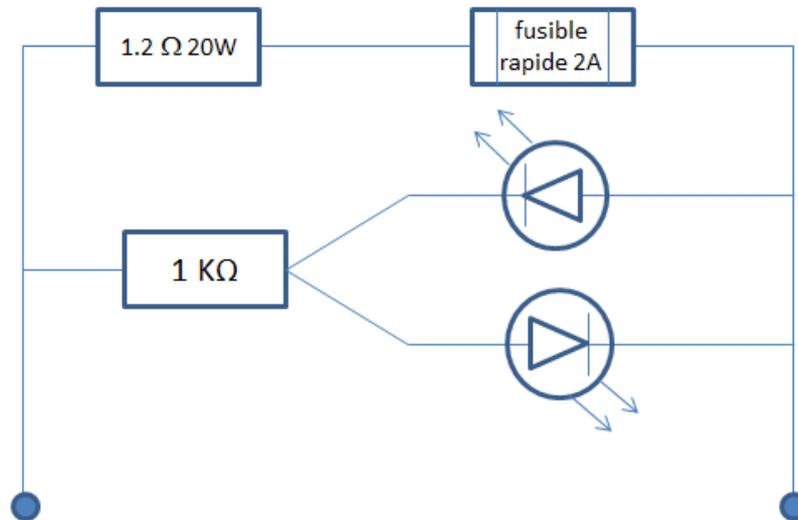


Figure 13 : Schéma de l'infla-test

INF2 : Ces connecteurs sont disponibles sur Radiospare (références 872-1433 et 464-454 respectivement). Il est conseillé de se procurer l'alter-ego mâle du connecteur femelle fixé sur la fusée pour procéder à des tests en amont des RCE et du C'Space. Ce connecteur doit être le plus près possible de la tuyère du moteur du deuxième étage, afin de minimiser la longueur de câble susceptible de faire antenne.

INF3 : Monter des résistances entre les bornes de l'inflamateur et le neutre permet à l'ensemble d'être plus robuste.

### 13.3. SPECIFICATIONS DE LA SECURITE PYROTECHNIQUE (SHUNT)

Ce paragraphe décrit les spécifications électriques et mécaniques de la sécurité pyrotechnique, qui sert à sécuriser ses manipulations quand le projet est au sol (en rampe ou posé avec le moteur du deuxième étage toujours actif)..

#### REGLES

**SPYTC1** : La sécurité pyrotechnique (shunt) doit se situer à moins de 10cm de la tuyère du moteur.

**SPYTC2** : La sécurité pyrotechnique (shunt) doit être accessible depuis l'extérieur de la fusée, sans démontage et sans outils, dans un secteur angulaire positionné à 90° de l'interrupteur d'alimentation de la ligne de mise à feu, voire Figure 14. Chacun des secteurs de la sécurité pyrotechnique et de la sécurité rampe doivent être à plus de 20° du rail et de chaque ailerons autour de l'axe longitudinal de la fusée.

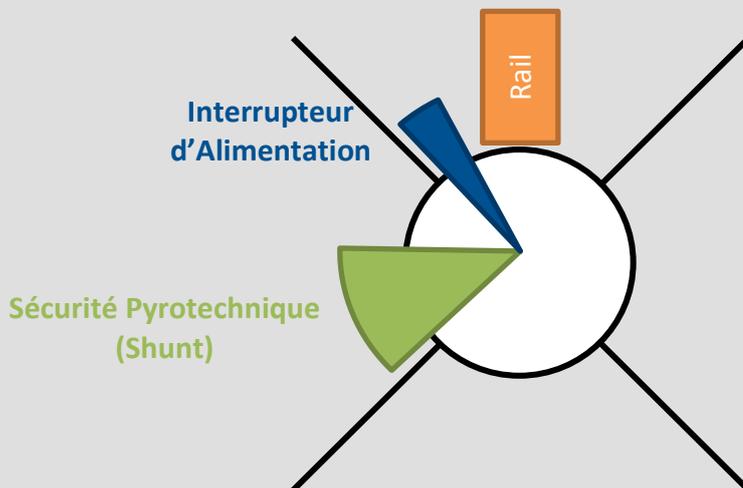


Figure 14 : Accessibilité de sécurité pyrotechnique

**SPYTC3** : La sécurité pyrotechnique doit être désactivée de préférence au lancement de la fusée ou le cas échéant par le pyrotechnicien (à une distance >3m via un cordon)

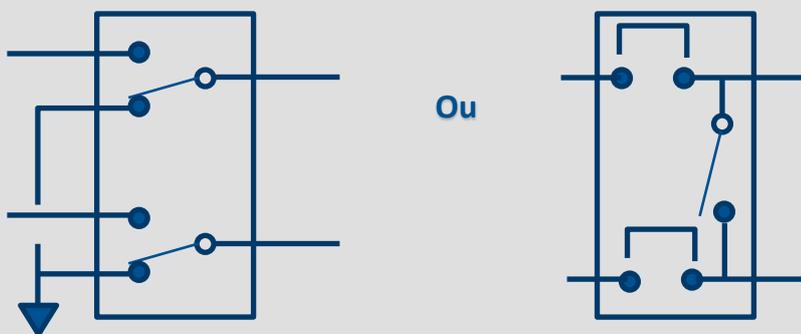


Figure 15 : Sécurité pyrotechnique

#### CONTROLES

SPYTC1 : Mesures correspondantes.

SPYTC2 : Contrôle par un pyrotechnicien de l'emplacement de la sécurité pyrotechnique.

SPYTC3 : Vérification sur la fusée

| EXPLICATIONS |
|--------------|
|--------------|

SPYTC1 : Cette sécurité peut être un jack de qualité éjecté au décollage ou que le pyrotechnicien pourra retirer à distance une fois ses manipulations terminées . Il faut limiter la longueur des fils et des autres éléments conducteurs pouvant faire antennes.

SPYTC2 : Cette sécurité doit être accessible non seulement en rampe, mais aussi lorsque la fusée est retombée sous parachute (au cas où il soit nécessaire de passer le moteur du deuxième étage).

SPYTC3 : Cela inclut les opérations pyrotechniques elles-mêmes et l'érection de la rampe.

| RECOMMANDATIONS |
|-----------------|
|-----------------|

SPYTC1 : Une flamme (type « Remove before launch » ou autre élément visuel facilement identifiable) aidera le pyrotechnicien à localiser cette sécurité. Rédiger la chronologie de lancement en conséquence.

SPYTC2 : Faire un essai d'accessibilité avec une personne étrangère au projet pour vérifier l'ergonomie du système. Il doit être accessible depuis deux endroits différents de la fusée pour s'assurer qu'au moins l'un d'entre eux soit toujours manipulable (y compris dans le cas où l'étage est retombé au sol avec une de ses faces inaccessibles).

SPYTC3 : Anticiper la mise en œuvre du projet dès sa conception afin de garantir une phase opérationnelle fluide et sûre.

SPYTC4 : Bien s'assurer que la sécurité pyrotechnique agit sur les deux bornes de l'inflammeur. Attention, ce composant sera traversé par un fort courant pour protéger l'inflammeur ; de plus il sera beaucoup utilisé (« cyclé »), du « débogage » jusqu'au vol en passant par les contrôles. Il faut donc largement la surdimensionner par rapport à ces deux aspects.

### 13.4. SPECIFICATIONS DE L'ORDRE DE MISE A FEU

#### 13.4.1. GENERALITES

Ce paragraphe décrit les spécifications générales de l'ordre de mise à feu.

#### REGLES

**ORDRE1** : L'ordre de mise à feu doit transiter au travers de l'inflamateur via des optocoupleurs (ou autre solution technique) permettant d'isoler électriquement les parties ordre et puissance.

**ORDRE2** : L'ordre doit prendre en compte au moins trois conditions à l'instant de l'allumage du moteur du deuxième étage :

- L'attitude du deuxième étage doit être proche de celle issue de la simulation avec l'outil de trajectographie de Planète Sciences à l'instant d'allumage théorique ;
- Une fenêtre temporelle prenant en compte la fin de poussée du premier étage ;
- La séparation est effective (ne s'appliquant pas pour les cas de séparation chaude).

La signalisation (dels, buzzers...) doit permettre d'identifier explicitement l'état de toutes les conditions d'allumage. Si un programme de test au sol est nécessaire, il doit être signalé par un moyen spécifique.

**ORDRE3** : Le club doit proposer pour la deuxième RCE2 le moyen de contrôle de ces conditions sur le modèle fourni en annexe, cf. 15.4.

**ORDRE4** : L'ordre de mise à feu ne doit pas être donné si au moins une des conditions citées en ORDRE2 n'est pas vérifiée.

**ORDRE5** : Si des relais mécaniques sont utilisés. Ceux-ci doivent être positionnés de sorte que leur axe de sensibilité soit perpendiculairement à l'axe de la fusée. Selon leur niveau de chocs/ambiances admissible, ceux-ci devront également être découplés mécaniquement.

#### CONTROLES

ORDRE1, 2 : Vérification des schémas électroniques.

ORDRE3 : Vérification lors de la deuxième RCE2 de l'existence d'une matrice de tests exhaustive.

ORDRE4 : Tests lors des contrôles des différents cas de fonctionnements.

ORDRE5 : Vérification des schémas électroniques.

|                     |
|---------------------|
| <b>EXPLICATIONS</b> |
|---------------------|

ORDRE1 : Agir sur les deux bornes au lieu d'une seule est une mesure de sécurité supplémentaire. L'utilisation d'optocoupleurs garantit l'isolation électrique des parties commande et puissance.

ORDRE2 :

*Attitude*

L'attitude du deuxième étage ne doit pas être dangereuse au moment de l'allumage de son moteur. La trajectoire simulée ne devant pas sortir du gabarit (cf. SECU22) il faut simplement s'assurer que la trajectoire réelle corresponde à la simulation. Enfin, la mesure de l'attitude doit être encadrée par une fenêtre temporelle, de la même façon qu'une fenêtre temporelle encadre le fonctionnement de détecteurs d'apogée pour les systèmes de récupération.

*Fenêtre temporelle – fin de poussée*

Un programme de test sera utilisé par exemple dans le cas d'une intégrale de poussée ; ce programme ne devant pas être embarqué en vol, il doit être signalé d'une façon non ambiguë du programme de vol. Le programme de test pourra par exemple faire clignoter une led spécifique alors que le programme de vol devra l'allumer en permanence. Les moyens de signalisation permettront de simplifier le « débogage », mais aussi les contrôles et la mise en œuvre.

ORDRE3 : Les moyens de contrôle pour chaque condition sont propres à chaque projet et solutions techniques utilisées. Il est donc du ressort du club de proposer ceux-ci à la commission technique, qui validera le choix fait par le club ou le modifiera.

ORDRE4 : On veut s'assurer du bon fonctionnement de chaque sécurité de façon indépendante.

ORDRE5 : De tels relais sont sensibles aux vibrations et pourraient donc envoyer de mauvaises informations. Ils pourraient être employés, sous réserve de vérifier le niveau de vibrations tenu et qu'ils sont installés de sorte que leur axe de sensibilité soit perpendiculairement à l'axe de la fusée. La solution des optocoupleurs, est estimée plus fiable et simple à mettre en œuvre.

## RECOMMANDATIONS

ORDRE1 : Ne pas utiliser de transistors, qui ne permettant pas d'isoler les circuits électriques (cf. MAF4). Si des optocoupleurs sont utilisés, ils doivent l'être suivant les recommandations du fabricant. En effet, s'ils sont mal utilisés ils peuvent mener à encore plus de défaillances...

ORDRE2 : Ces différents points sont règlementés plus en détails plus bas. Pour garantir des résultats de simulation de trajectoire aussi proche que possible de la réalité, il est recommandé d'étudier la référence [R1] et de concevoir le projet de sorte à respecter d'aussi près que possible les différentes hypothèses simplificatrices de l'outil de trajectographie de Planète Sciences. Vérifier que les dels sont visibles même en plein soleil, et les buzzers audibles en extérieur.

ORDRE3 : Privilégier des solutions technologiques facilement « contrôlables » au sol. Pour la vérification d'attitude, le vol inerte peut être la solution (ou bien un vol utilisant un autre vecteur, comme une minifusée ou une fusée à eau) pour étudier des mesures par rapport à une simulation donnée.

ORDRE4 : Il est possible d'utiliser un jeu d'optocoupleurs par condition, ou bien un jeu d'optocoupleurs pour toutes les conditions (voir Figure 16)..

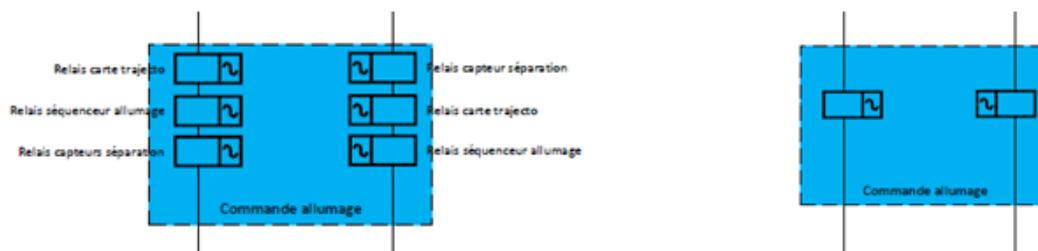


Figure 16 : Placement des optocoupleurs

ORDRE6 : Privilégier l'utilisation d'optocoupleurs.

### 13.4.2. ATTITUDE DEUXIEME ETAGE

Ce paragraphe décrit les spécifications relatives à la condition d'attitude de l'ordre de mise à feu.

#### REGLES

**ATT1** : Dans le cas d'une vérification de l'assiette par des capteurs embarqués, un fenêtrage temporel [T1, T2] encadrant le temps de séparation optimale est obligatoire.

Un cavalier et des points de test devront permettre d'isoler et de vérifier facilement le fonctionnement du module de fenêtrage temporel.

Le respect du gabarit doit être assuré pour tout instant compris entre T1 et T2.

**ATT2** : Si une centrale inertielle (ou autre capteur similaire nécessitant une reconstruction de l'attitude ou permettant de reconstituer l'attitude) est utilisée pour cette vérification :

- Le code sera vérifié par un contrôleur qualifié lors de la deuxième RCE2 ;
- Elle doit être, si possible, recalée en rampe jusqu'au décollage mais pas pendant l'érection de celle-ci.

**ATT3** : L'attitude à vérifier est une tolérance en azimut et une tolérance en assiette (cf. Figure 17) autour de la trajectoire nominale issue de la simulation à l'instant prévu de l'allumage du moteur du deuxième étage. Ces tolérances sont communiquées par le club lors de la première RCE2.

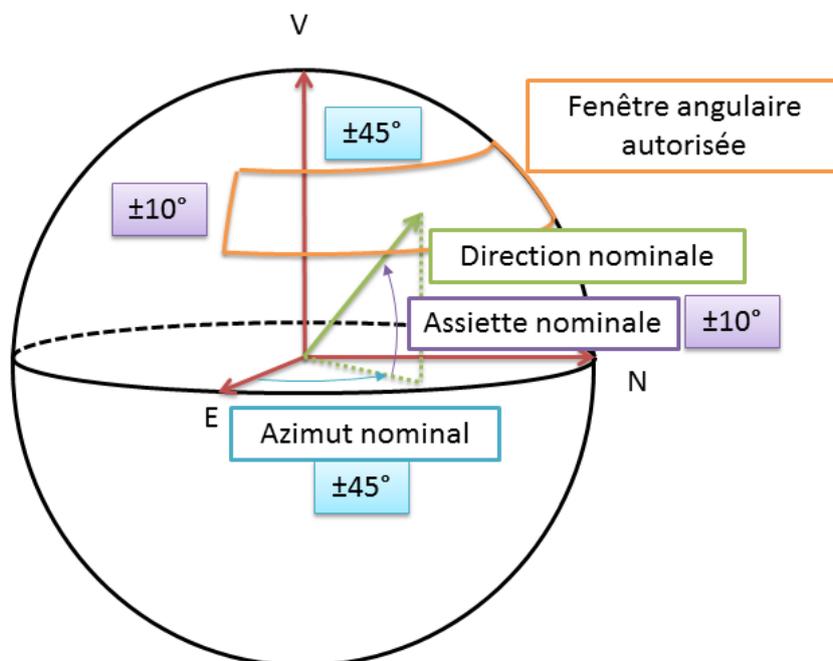


Figure 17 : Tolérances d'attitude à l'allumage du deuxième étage

|                  |
|------------------|
| <b>CONTROLES</b> |
|------------------|

ATT1 : Vérification du réglage de T1 et de T2 et de l'indépendance vis à vis des autres conditions de mise à feu.

ATT2 : Fourniture du code à la deuxième RCE2.

ATT3 : Vérification lors de la première RCE2 des valeurs adoptées par le club et de leur cohérence par rapport à l'analyse de sûreté de fonctionnement et au matériel utilisé, notamment la précision des capteurs gyroscopiques s'il y a lieu.

|                     |
|---------------------|
| <b>EXPLICATIONS</b> |
|---------------------|

ATT1 : Quels que soient les capteurs utilisés, il est nécessaire de disposer d'une sécurité permettant de s'affranchir de ses cas de pannes (envoi d'une commande précoce ou tardive principalement).

ATT2 : L'implémentation d'une centrale inertielle pour faire de la trajectographie en temps réel à bord de la fusée est un exercice difficile et chronophage, pouvant facilement constituer à lui seul un projet annuel pour les ressources d'un club. La relecture du code par un contrôleur avisé est donc une aide précieuse ! La « reconstruction de l'attitude » est par exemple un filtre de Kalman.

ATT3 : Les valeurs adoptées sont à choisir en fonction de nombreux paramètres (scénarios de vol, valeurs des fenêtres temporelles utilisées, précision des capteurs gyroscopiques...). Il n'est donc pas possible de fixer une valeur valable pour tous les projets. Pour les vérifications d'attitude depuis le sol, on admet qu'un être humain est capable d'identifier une assiette à 20° près et un azimut à 40° près.

Nota : Dans le cas d'une séparation chaude, il pourrait être admis qu'une perte d'intégrité physique seule peut être à l'origine d'une perturbation d'attitude suffisante pour interdire alors l'allumage du deuxième étage. Cependant, les critères de stabilité actuellement utilisés ont été construits sur l'expérience. Ils pourraient donc ne pas être exhaustifs. Si ce manque venait à être comblé, il faudrait cependant vérifier de façon active l'intégrité physique à bord : pas d'arrachage ou de pliure d'un aileron ; pas d'éjection de parachute ou autre système ralentisseur ; pas d'éjection de module ou autre ; pas d'ouverture ou rupture de l'ogive et des tubes...

|                        |
|------------------------|
| <b>RECOMMANDATIONS</b> |
|------------------------|

ATT1 : Garder les choses simples en doublant la minuterie habituellement utilisée au sein du club. Cette fenêtre temporelle est idéalement la même que celle citée en ORDRE2.

ATT2 : Ne pas sous-estimer la charge de travail à fournir, envisager si possible d'autres possibilités. La mesure d'attitude doit être prise à chaque instant et non cumulée depuis l'instant du décollage pour ne pas cumuler les erreurs de mesures (ceci ne prend pas en compte l'intégration sur quelques points de mesure). Il est enfin bénéfique de procéder à un vol utilisant un autre vecteur (minifusée, fusée à eau...) pour en vérifier le bon fonctionnement, ou encore profiter d'un éventuel vol inerte préalable au vol actif.

ATT3 : Afin de faciliter la communication, préciser si les valeurs énoncées comprennent ou non la précision des capteurs utilisés. Préciser cette dernière le cas échéant.

### 13.4.3. FENETRE TEMPORELLE

Ce paragraphe décrit les spécifications relatives à la fenêtre temporelle de l'ordre de mise à feu.

|               |
|---------------|
| <b>REGLES</b> |
|---------------|

**FTP1** : La fenêtre temporelle est initialisée lorsqu'un connecteur extractible fixé à la rampe et un système détectant la poussée ou la flamme du moteur du premier étage ont détecté le décollage.

**FTP2** : La mise à feu du moteur du deuxième étage ne doit pas être autorisée tant que le moteur du premier étage propulse l'ensemble.

**FTP3** : La mise à feu du moteur du deuxième étage ne doit pas être autorisée lorsque la portée balistique du deuxième étage moteur allumé ne respecte plus le gabarit.

**FTP4** : 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.

|                  |
|------------------|
| <b>CONTROLES</b> |
|------------------|

FTP1 : Le club doit justifier la grandeur physique choisie et la valeur prise comme critère permettant de repérer le décollage pour la deuxième RCE2.

FTP2 : Vérification des schémas électriques.

FTP3 : Vérification des schémas électriques.

FTP4 : Vérification de la reproductibilité du processus d'initialisation.

|                     |
|---------------------|
| <b>EXPLICATIONS</b> |
|---------------------|

FTP1 fixe l'instant d'origine ( $t = 0$ ) du vol, FTP2 et 3 fixent respectivement le début et la fin de la fenêtre chronologique.

FTP1 : La superposition d'un connecteur extractible et d'une détection d'allumage sert à éviter la mise à feu du second étage en rampe en cas d'arrachage intempestif de la sécurité rampe. On estime en effet qu'un connecteur extractible pourrait être sujet à un arrachement intempestif du fait des manipulations en rampe ou sous l'effet du vent par exemple.

*Connecteur extractible*

On entend par là un système type « jack » qui s'arrache au décollage.

*Détection de poussée ou de flamme*

Une caméra dont l'image sature ou bien dont l'objectif est couvert de suie à l'allumage du moteur du premier étage peut par exemple être employée.

FTP2 : Plusieurs solutions technologiques sont possibles et utilisent des grandeurs différentes (accélération, facteur de charge, temporisation, altitude...) mais toutes sont indirectes et la plupart se basent sur la simulation de la trajectoire. Il est donc nécessaire que le club communique clairement ses choix technologiques et en démontre la pertinence par rapport aux spécificités de son projet (cf. analyse de sûreté de fonctionnement). On distingue deux types de solutions : celles qui constatent une extinction du moteur (détection de fin de poussée, temporisation, ...) et celle qui en vérifie le fonctionnement nominal (intégrale de poussée), à choisir en fonction de l'analyse de sûreté de fonctionnement.

FTP3 : La date de fin de fenêtre temporelle doit être choisie en fonction de la simulation de trajectoire pour ne pas sortir du gabarit (si la mise à feu se produit au plus tard de la fenêtre temporelle fixée, le second étage ne sortira pas du gabarit).

FTP4 : Lors du transport ou des manipulations sur rampe, aucune garantie ne peut être apportée sur l'intensité des chocs, donc sur l'état de l'accéléro-contact lors de sa mise en œuvre, pouvant ainsi mener à un déclenchement intempestif.

|                        |
|------------------------|
| <b>RECOMMANDATIONS</b> |
|------------------------|

FTP1 : Si vous utilisez une prise arrachable pour l'initialisation, préférez un initialisateur qui rompt un contact plutôt que l'inverse. Il faut que la longueur du fil soit suffisante afin d'éviter l'arrachage intempestif lors des opérations en rampe, notamment pendant les opérations d'assemblage ou de désassemblage des deux étages. En cas de doute, prévoir une longueur égale à la longueur hors tout des deux étages assemblés et un outil pour couper la longueur superflue en chronologie de lancement.

Si un jack est utilisé, il est possible de faire passer un fil (soudé à la prise mâle) avec la ficelle attachée à la rampe afin d'être robuste à une rupture de la ficelle (qui romprait alors le contact fait par le fil).

Pour la détection de début de poussée, il est possible de s'inspirer des recommandations de la règle FTP2 ci-dessous.

FTP2 : La solution technique doit être la plus simple possible. En effet, s'il est possible de réaliser une intégrale de poussée (vérifier que le moteur fournit 50% de son impulsion spécifique théorique pendant 50% de son temps de combustion théorique par exemple), une détection de fin de poussée (vérifier que l'accélération devient négative, ce qui correspond à la fin de poussée) ou une simple temporisation (basée sur le temps de fin de combustion théorique) ou encore une mesure d'altitude (basée sur la simulation de trajectoire) peuvent suffire et sont moins complexes à mettre en œuvre. Si une intégrale de poussée est choisie, le choix du niveau exact de poussée à partir duquel on considère que le premier étage a fonctionné nominalement doit être fait de façon cohérente avec l'analyse de sûreté de fonctionnement du projet. Il peut être utile voire nécessaire de réaliser un capteur simulé, capable d'envoyer des séries de bonnes ou de mauvaises données pour vérifier le fonctionnement de cette condition d'allumage.

FTP3 : Il sera utile de pouvoir régler les différents paramètres (début et fin de la fenêtre temporelle) facilement et rapidement, autant dans la phase de « débogage » que pour les contrôles.

#### 13.4.4. SEPARATION INTER ETAGE

Ce paragraphe décrit les spécifications relatives à la condition de séparation inter étage de l'ordre de mise à feu. Il ne concerne donc que les projets utilisant une séparation froide.

| REGLES |
|--------|
|--------|

**SEP1** : La mise à feu doit être inhibée tant que les deux étages ne sont pas séparés.

**SEP2** : Le critère permettant de confirmer que la séparation est effective ne peut pas être une temporisation.

**SEP3** : La séparation inter-étage ne doit être conditionnée que par l'extinction du moteur du premier étage.

| CONTROLES |
|-----------|
|-----------|

SEP1 : On vérifiera lors des contrôles que la mise à feu n'est pas possible lorsque les deux étages sont assemblés, et la mise à feu est autorisée lorsque les deux étages sont séparés.

SEP2 : Vérification des schémas électriques.

SEP3 : Vérification des schémas électriques.

**EXPLICATIONS**

SEP1 : Le but est de maximiser l'accès au moteur du second étage si celui-ci venait à retomber sans s'être allumé.

SEP2 : Un choix de temporisation ne permet pas de vérifier que les deux étages sont bien séparés. De plus, attendre trop longtemps entre l'instant où la séparation est commandée et l'instant où la mise à feu peut avoir lieu rapproche le second étage de son apogée balistique. Il se pourrait donc que les conditions d'allumage ne soit pas réunies dans la fourchette temporelle voulue, devenue trop courte...

SEP3 : La séparation doit avoir lieu quoiqu'il arrive afin de faciliter les opérations de récupération si le moteur du second étage ne s'est pas allumé.

**RECOMMANDATIONS**

SEP1 : Là encore, la simplicité est de mise. Un simple contact électrique de type jack (ou autre système de déconnexion) suffit. Il faut s'assurer que cette détection est bien cohérente du mode de séparation (notamment de la longueur d'emboîtement des deux étages). Prévoir un système robuste aux vibrations et aux accélérations prévues pendant le vol.

SEP2 : Préférer un contact électrique qui se rompt, comme les initiateurs de minuterie habituellement utilisés pour détecter la sortie de rampe. Ce contact doit être rompu dès que les étages sont séparés (il ne faut pas tenter d'attendre que les deux étages s'espacent de plusieurs mètres par exemple, car cela prend trop de temps). Un bouton poussoir peut également être utilisé, se méfier alors du signal transmis en présence de vibration (les deux étages pourraient s'entrechoquer et le signal être brouillé).

SEP3 : Préférer un critère simple comme une temporisation indépendante du mode de fonctionnement du moteur du premier étage.

### 13.5. SPECIFICATIONS DE L'INTERRUPTEUR D'ALIMENTATION

Ce paragraphe décrit les spécifications de l'interrupteur d'alimentation.

#### REGLES

**INTER1 :** L'interrupteur d'alimentation relie chacune des deux bornes de l'inflamateur à la masse lorsque celui-ci est en position interdiction de mise à feu. L'interrupteur d'alimentation est basculé par le pyrotechnicien à la fin des opérations de mises en œuvre du ou des moteurs.

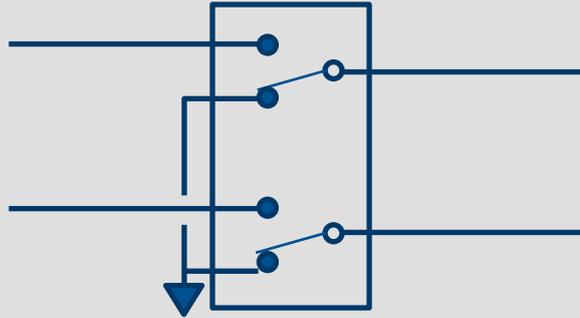


Figure 18 : Interrupteur

#### CONTROLES

INTER1 : Vérification des schémas électroniques.

#### EXPLICATIONS

INTER1 : Sur ce schéma, il est entendu que l'inflamateur est à droite et la source d'énergie à gauche; lorsque la mise à feu n'est pas autorisée, l'inflamateur est donc relié à la masse par ses deux bornes.

L'interrupteur participe aux trois barrières de protection pyrotechniques. Si l'interrupteur ne peut être basculé que par un membre de club, une protection supplémentaire (shunt ou interrupteur) doit être ajoutée sur la ligne de mise à feu.

#### RECOMMANDATIONS

INTER1 : Bien s'assurer que l'interrupteur d'alimentation agit sur les deux bornes de l'inflamateur.

## 14. L'exploitation des résultats

|              |
|--------------|
| <b>REGLE</b> |
|--------------|

**EXP1** : L'expérience devra faire l'objet d'un compte-rendu détaillé.

## 15. Annexes

### 15.1. ANNEXE 1 – EXEMPLE DE CHRONOLOGIE DE LANCEMENT

Ci-dessous un exemple de chronologie « idéale », basé sur la chronologie de en zone rampe du projet Matriochka lancé en 2017. Ici les deux étages sont déjà assemblés lorsqu'ils arrivent en rampe, il n'y a pas d'opérations d'assemblage ni de désassemblage pour les pyrotechniciens ni de télémessure à allumer.

| MATRIOCHKA - STAND BY MODE |  |                     |  |
|----------------------------|--|---------------------|--|
| Dernière mise à jour :     |  | 07/07/2017          | EQUIPE C'SPACE : FRANCOIS - BERTRAND - ARMELLE |
|                            |  | QUI                 | OUTILS   |
| Rampe de Lancement         |  |                     |  |
| <b>Global</b>              |  |                     |  |
| <input type="checkbox"/>   | Insérer le premier étage sur la rampe Toutatis   | BERTRAND + FRANCOIS |  |
| <input type="checkbox"/>   | Prendre des photos   | ARNOULD / PIERRE G  |  |
| <input type="checkbox"/>   | <b>Accrocher les ficelles jacks Stimulus à la rampe</b>                                      | BERTRAND            | <b>Ficelle en rab'</b>                         |
| <input type="checkbox"/>   | <b>Scotcher la pince coupante pour le pyro au niveau de la bague propu</b>                   | FRANCOIS            | <b>Pince coupante</b>                          |
| <input type="checkbox"/>   | Vérifier les jacks Stimulus  | ARMELLE             | <b>Scotch</b>                                  |
| <input type="checkbox"/>   | Allumer la caméra Reflex grâce au beeper   | ARMELLE             | <b>Beeper camera</b>                           |
| <input type="checkbox"/>   | Allumer les 2 caméras lanceur (utiliser le crayon à papier)                                  | ARMELLE             | <b>Crayon à papier</b>                         |
| <input type="checkbox"/>   | Basculer l'interrupteur pyro en position "SECURITE"  |                     |  |
| <input type="checkbox"/>   | Interrupteurs sur ON :   |                     |  |
| <input type="checkbox"/>   | Interrupteur Reflex (S'allume Vert quand ON)   | PIERRE G            |  |
| <input type="checkbox"/>   | Interrupteur Stimulus Récupération   |                     |  |
| <input type="checkbox"/>   | Interrupteur Stimulus MAF  |                     |  |
| <input type="checkbox"/>   | Vérifier les DELs:   | PIERRE G + BERTRAND |  |
| <b>ETAT STAND BY :</b>     |  |                     |  |
|                            | OK   | ALIM                | Stand by                                       |
|                            | OK   | ALIMARDUINO         | Stand by                                       |
|                            | OK   | JACK                | Jack inséré                                    |
| MISE A FEU                 | ETEINTE  | TEMPO               | Fanôme temporelle en cours                     |
|                            | ETEINTE  | ROUSSEE             | Rind de poussée détachée                       |
|                            | OK   | IMU                 | Attitude lanceur ok                            |
|                            | OK   | PORTE               | Porte fermée                                   |
|                            | ETEINTE  | Buzzer              | Partir !                                       |
| RECUP LANCEUR              | OK   | ALIM                | Stand by                                       |
|                            | OK   | JACK                | Arrachage du Jack                              |
| RECUP REFLEX               | OK   | ALIM                | Stand by                                       |
|                            | ETEINTE  | C OPTIK             | Reflex à l'extérieur du lanceur                |
| GO TO PUPITRE              | OK   | JACK                | Arrachage du Jack                              |
| <b>Pyrotechnique</b>       |  |                     |  |
| <input type="checkbox"/>   | Insérer le cariacou tout en retenant Reflex par la ficelle de rétention de couleur BLANCHE   | Pyro                |  |
| <input type="checkbox"/>   | Serrer les fils de fer de rétention du Cariacou  | Pyro                |  |
| <input type="checkbox"/>   | <b>Connecter l'inflamateur du cariacou avec le connecteur rapide</b>                         | Pyro                | <b>PINCE COUPANTE</b>                          |
| <input type="checkbox"/>   | Couper la ficelle de rétention (couleur BLANCHE)   | Pyro                |  |
| <input type="checkbox"/>   | Insérer le Pro 54  | Pyro                |  |
| <input type="checkbox"/>   | Verrouiller le domino du Pro 54 à la main (bien serrer)                                      | Pyro                |  |
| <input type="checkbox"/>   | Basculer l'interrupteur pyro orange en position "VOL"  |                     |  |
| <input type="checkbox"/>   | <b>Si le buzzer ne sonne pas : enlever le shunt pyro = jack "REMOVE BEFORE FLIGHT" rouge</b> | Pyro                |  |
| DEPART DU PYRO             |  | Pyro                |  |
| DECOMPTE FINAL             |  | TOUS                |  |
| PUISSER SUR LE BOUTON      |  | ???                 |  |
| DECOLLAGE                  |  |                     |  |

## 15.2. ANNEXE 2 – EXTRAITS DE L’EST

### 4.3.2.2.5 Phases C et D - Mise en place des moteurs, élévation de la rampe, mise en marche de la fusée, connexion à la ligne de mise à feu et armement des moteurs

---

Les opérations réalisées à la rampe pendant les phases C et D sont globalement identiques à celles qui ont été décrites pour une fusée mono-étage, mais quelques opérations supplémentaires sont inévitablement effectuées pour la mise en œuvre de l'étage (ou des étages) supérieur(s). De même, l'ordre de certaines opérations est également modifié compte tenu de la spécificité de ce type de vecteur.

Toutes les opérations se déroulent à la rampe.

Le lancement s'effectue obligatoirement sur une **rampe rail** spécifique qui permet d'assurer le guidage de l'ensemble des étages durant toutes les étapes critiques de la mise en œuvre.

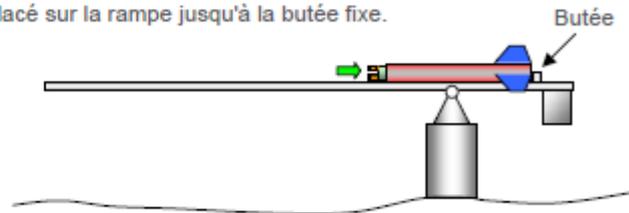
Ce type de rampe offre un accès aisé à la fusée et facilite les opérations. Le guidage est assuré par un rail dans lequel viennent se glisser des patins présents sur la fusée. La rampe assure un guidage de 4 mètres extensible à 6 mètres. L'élévation de la rampe se fait par un vérin électrique. Une fois correctement orientée, la rampe est solidement haubanée au sol.

Les opérations réalisées à la rampe sont les suivantes :

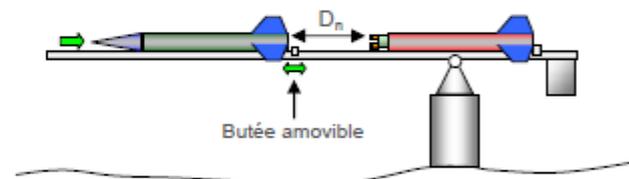
1. La rampe de lancement est placée à l'horizontale.



2. Le premier étage, sans son moteur, est placé sur la rampe jusqu'à la butée fixe.



3. La butée amovible de l'étage suivant est positionnée avec un dégagement suffisant pour permettre les opérations pyrotechniques. La distance " $D_n$ " est définie lors des essais de compatibilité rampe effectués au préalable avec des moteurs inertes.

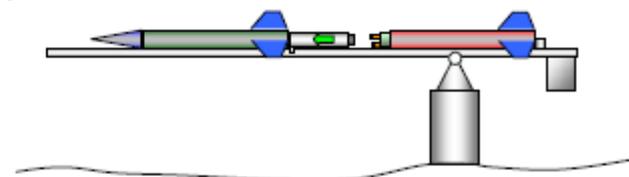


4. L'étage supérieur, sans son moteur, est placé sur la rampe jusqu'à la butée amovible.

*Les deux dernières opérations (3 et 4) sont réalisées autant de fois qu'il y a d'étages.*

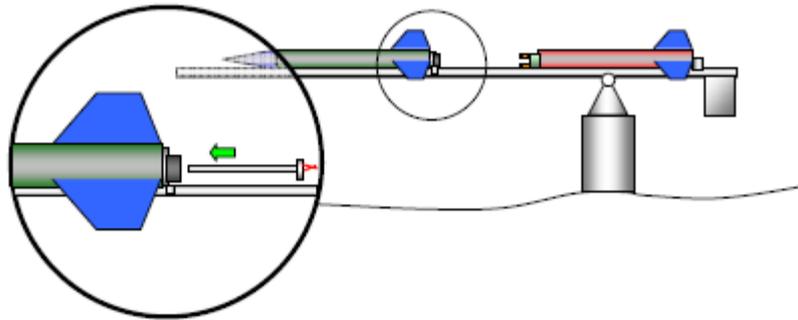
Les opérations suivantes sont réalisées par le Pyro FUSEX et un membre du club habilité (disposant des protections idoines). Les systèmes de communication radio sont déposés hors de la zone (au-delà de 25 m). Un second pyrotechnicien est en retrait et assure les communications avec le PC FUSEX.

5. Le moteur de l'étage supérieur est mis en place.

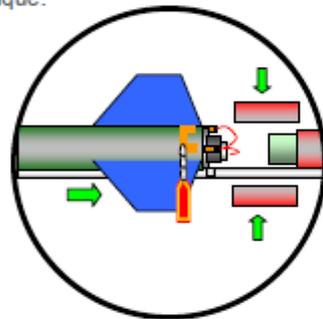


6. Avant de mettre en court-circuit le système de mise à feu, le Pyro FUSEX vérifie l'absence de tension sur le connecteur d'alimentation de l'inflammeur, si la logique le permet, relais d'armement armé. Puis, le Pyro FUSEX met en place le court-circuit du système de mise à feu de l'étage supérieur et s'assure à nouveau de l'absence de tension sur le bornier de connexion de l'inflammeur.
7. Le Pyro FUSEX raccorde l'inflammeur de l'étage supérieur au système d'alimentation de l'étage supérieur.

8. Une fois raccordé au système d'alimentation, l'inflamateur est introduit dans le moteur de l'étage supérieur et il est maintenu en place par le système prévu à cet effet.



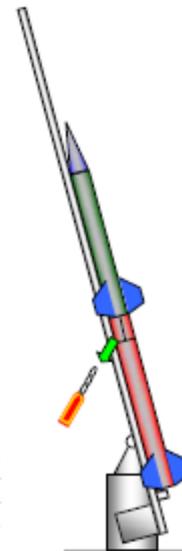
9. L'étage supérieur est mis sous tension par le membre de club (sauf les dispositifs rayonnants).  
 10. L'étage inférieur est mis sous tension par le membre de club (sauf les dispositifs rayonnants).  
 11. Le membre de club se retire à la tente pyrotechnique FUSEX.  
 12. La butée amovible de l'étage supérieur est retirée pour permettre l'association des 2 étages et leur verrouillage mécanique.



Ces 8 dernières opérations précédentes (5 à 12) sont réalisées autant de fois qu'il y a d'étages.

13. Lorsque la fusée est totalement intégrée, le moteur de l'étage inférieur est mis en place conformément aux opérations décrites pour une fusée mono-étage (cf. Phase C, § 4.3.2.1.4).  
 14. La rampe est érigée par le "rampe" qui se replie aussitôt après l'opération, et le membre de club désigné est appelé pour la mise en marche de l'émetteur.  
 15. Les dispositifs rayonnants (émetteurs) sont mis en marche.  
 16. Le membre de club se retire à la tente pyrotechnique.  
 17. L'inflamateur du premier étage est ensuite connecté à la ligne de mise à feu conformément aux opérations décrites pour une fusée mono-étage (cf. Phase D, § 4.3.2.1.5).  
 18. Le Pyro FUSEX introduit l'inflamateur dans le moteur du premier étage sous contrôle du second pyro (en retrait).  
 19. Les dispositifs pyrotechniques des étages supérieurs sont armés.  
 20. Les connecteurs de court-circuit des étages supérieurs sont retirés depuis l'étage supérieur vers les étages inférieurs.

*Nota : Il est recommandé que le shunt de court-circuit de l'allumage des étages supérieurs soit arraché lors du décollage de la fusée. Il n'y a pas de dispositif externe à la fusée. Le connecteur de court-circuit avec sa flamme est ici remplacé, dans la mesure du possible, par un connecteur extractible depuis la fusée (en le fixant sur la rampe avec une cordelette par exemple). Ces systèmes "ombilicaux" sont souvent utilisés sur ce type de fusée pour initier l'électronique lors du lancement.*



#### 4.3.2.2.7 Phase F – Traitement des incidents

---

##### **A - Incident sur rampe (avant tentative de mise à feu)**

Les principes retenus pour une fusée mono-étage (cf. § 4.3.2.1.7) sont également applicables à une fusée à plusieurs étages.

##### **B - Long feu**

Les principes retenus pour une fusée mono-étage (cf. § 4.3.2.1.7) sont également applicables au premier étage d'une fusée à plusieurs étages.

Pour ce qui concerne les étages supérieurs, des opérations complémentaires sont également prévues pour l'intervention des deux Pyros FUSEX (dont un en retrait) à la rampe pour remettre en sécurité le(s) étage(s) supérieur(s) par court-circuit du dispositif d'allumage (si le shunt n'a pas été prévu pour s'arracher au décollage de la fusée). L'inflamateur est ensuite retiré et le moteur déposé, le tout étant ramené à la tente pyrotechnique pour reconditionnement avant retour en stockage à l'emplacement de stockage journalier.

##### **C - Non feu de l'étage inférieur**

Les principes retenus pour une fusée mono-étage (cf. § 4.3.2.1.7) sont également applicables au premier étage d'une fusée à plusieurs étages.

En cas d'échec à l'issue des différentes tentatives de mise à feu, les opérations complémentaires réalisées consistent à remettre en sécurité les étages supérieurs, retirer l'inflamateur, déposer les moteurs, reconditionner les éléments dans leurs emballages individuels et les remettre en stockage à l'emplacement de stockage journalier.

### D - Non feu de l'étage supérieur

Compte tenu des nombreuses conditions nécessaires à la mise à feu des étages supérieurs et à la complexité des engins, il n'est pas improbable que certains étages ne puissent être mis à feu nominalement au cours du vol de la fusée.

Trois situations sont retenues :

- **1<sup>er</sup> cas** : Il y a eu séparation inter étages, mais l'étage supérieur n'a pas été mis à feu et il redescend nominalement sous le parachute

Dans ce cas :

- ◊ attendre un délai de 30 minutes minimum avant toute intervention,
- ◊ un pyrotechnicien, un membre de club habilité et le DMO, munis des équipements de protection adaptés et du(des) shunt(s) nécessaire(s), se rendent sur le lieu de la retombée de l'étage supérieur,
- ◊ ils procèdent à l'inspection visuelle de l'étage (sans manipulation) et vérifient notamment l'accessibilité pour la remise en sécurité du circuit d'alimentation de l'inflamateur (à noter que le cahier des charges spécifie l'accessibilité en deux points, angulairement à 90°, pour la mise en place du shunt),
- ◊ le pyrotechnicien intervient seul pour couper les fils de l'inflamateur à quelques centimètres du divergent, puis pour shunter et déposer l'inflamateur (les autres personnels étant en retrait hors Z2),
- ◊ le pyrotechnicien en charge de l'opération dépose alors le propulseur et le laisse sur place,
- ◊ l'étage inerte est récupéré par le membre de club, le propulseur est laissé sur place et sa localisation est balisée en attente de prise en charge par le DMO et d'évacuation vers la zone balisée réservée à cet effet en attente de leur élimination.

**Nota** : En cas de doute sur l'état de l'étage supérieur à l'issue de la reconnaissance ou en cas de problème d'accessibilité aux fils de l'inflamateur, il n'y aura pas de récupération des différents éléments. L'étage est dans ce cas mis à la disposition du DMO à qui il revient de l'évacuer vers la zone balisée réservée à cet effet (ZBR) en attente d'élimination ultérieure.

- **2<sup>ème</sup> cas** : Il y a eu séparation inter étages, mais l'étage supérieur n'a pas été mis à feu et il redescend en torche ou en balistique

Dans ce cas, la zone de retombée est identifiée et elle est signalée au DMO, lequel se chargera ultérieurement de récupérer l'étage et de le transférer vers la zone balisée réservée à cet effet en attente d'élimination ultérieure. Aucune récupération des éléments par les intervenants extérieurs n'est envisagée dans ce cas.

- **3<sup>ème</sup> cas** : Il n'y a pas eu de séparation inter étages

Dans ce cas, la zone de retombée est identifiée par l'équipe C'Space aidée du DMO. Le commandement du camp de Ger est averti de l'anomalie et une reconnaissance est faite par le personnel du RHP de Tarbes, accompagné du CNES et d'un membre de club.

- ◊ si l'état de la FUSEX est jugé convenable sur la base d'une inspection visuelle (pas de déformation notable du corps de la fusée, accessibilité des fils d'alimentation de l'inflamateur), la procédure du 1<sup>er</sup> cas est appliquée,
- ◊ dans le cas contraire, il n'y a pas de récupération de la fusée, le personnel se replie et la zone de retombée est identifiée et balisée en attente de prise en charge de la fusée par le DMO, lequel se chargera d'évacuer l'engin vers la zone balisée réservée à cet effet (ZBR) en attente d'élimination ultérieure.

### 15.3. ANNEXE 3 – MATRICE STANDARD DE TESTS

Il faut préalablement lister toutes les configurations à tester. Les cas en simples pannes sont assez simples à lister (on testera la configuration nominale, moins une sécurité en position « feu »). Les configurations en double panne peuvent être déterminées à l'aide du tableau ci-après (à adapter selon les besoins du projet et les conditions implémentées) :

| Configurations   | Sécurité rampe | Sécurité pyro | Inter alim | Attitude | Tempo | Sépa | Condition club 1 | Condition club 2 |
|------------------|----------------|---------------|------------|----------|-------|------|------------------|------------------|
| Sécurité rampe   |                | DF1           | DF2        | DF3      | ...   |      |                  |                  |
| Sécurité pyro    |                |               |            |          |       |      |                  |                  |
| Inter alim       |                |               |            |          |       |      |                  |                  |
| Attitude         |                |               |            |          |       |      |                  |                  |
| Tempo            |                |               |            |          |       |      |                  |                  |
| Sépa             |                |               |            |          |       |      |                  |                  |
| Condition club 1 |                |               |            |          |       |      |                  |                  |
| Condition club 2 |                |               |            |          |       |      |                  |                  |

Chaque case représente ainsi une configuration dégradée où deux des barrières (ligne et colonne) sont en position « feu ». Les configurations peuvent être identifiées à l'aide d'un code qui sera utilisé pour faire correspondre avec le tableau ci-après.

| Configurations | Résultats attendus                        | Résultats obtenus |
|----------------|---|-------------------|
| SF1            | Etat de la signalisation, de l'infla-test | OK/NOK            |
| SF2            | Etat de la signalisation, de l'infla-test | OK/NOK            |
| ...            | Etat de la signalisation, de l'infla-test | OK/NOK            |
| DF1            | Etat de la signalisation, de l'infla-test | OK/NOK            |
| DF2            | Etat de la signalisation, de l'infla-test | OK/NOK            |
| ...            | Etat de la signalisation, de l'infla-test | OK/NOK            |

#### 15.4. ANNEXE 4 – TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

Ci-dessous se trouve une échelle pour estimer la maturité d'une technologie au sein d'une équipe. Cette échelle va de 1 à 9, 1 étant le plus bas niveau et 9 le plus proche du lancement.

1. On pense pouvoir concrétiser une technologie.
2. On pense pouvoir utiliser cette technologie sur un système donné.
3. Il est possible de dimensionner un système employant cette technologie au sein d'un projet plus vaste.
4. Des tests sont réalisés avec un prototype pour montrer que le principe est viable.
5. Des tests sont réalisés avec un prototype pour montrer que le principe est utilisable à l'échelle du projet.
6. Un ou des lancements ont été conduits utilisant cette technologie, elle a donné satisfaction.
7. Le système intégrant cette technologie est dimensionné.
8. Le système est en cours d'intégration dans le projet.
9. Lancement du projet utilisant la technologie !

Une « idée » abstraite et nouvelle, a un niveau de maturité de 1. Un système tout prêt, « sur l'étagère », déjà fonctionnel et n'ayant pas besoin de maintenance est donc niveau 8. En revanche, si seul un retour d'expérience est disponible (ce qui est déjà beaucoup !) le niveau de maturité est 5 ou 6 à l'appréciation de l'équipe. Le niveau 9 peut inclure une phase de « débogage » limitée.

## 15.5. ANNEXE 5 – EXEMPLE DE STRUCTURATION DE DOSSIER

### Avant-propos

### Sommaire

### Introduction

#### Chapitre 1 : Généralités

1. Présentation du club
2. Présentation de l'équipe
3. Définition préliminaire du projet
4. Retours d'expériences de précédents projets
5. Financement et partenaires
6. Planification, répartition des tâches

#### Chapitre 2 : Analyse de sûreté de fonctionnement

1. Analyse préliminaire des risques
2. Modes de défaillances
3. AMDEC
4. Bilan sur les actions correctives à implémenter

#### Chapitre 3 : Structure mécanique

1. Généralités
2. Structure du premier étage
3. Structure du second étage
4. Système de récupération du premier étage
5. Système de récupération du second étage

#### Chapitre 3 : Systèmes électroniques embarqués

1. Séquenceur du premier étage
2. Séquenceur du second étage
3. Ligne de mise à feu
  - a. Vérification d'attitude
  - b. Conditions d'allumage
4. Expérience
5. Télémessure
6. Interfaces et compatibilité électromagnétique

#### Chapitre 4 : Aérodynamique et stabilité

1. Stabilité du premier étage
2. Stabilité du second étage

#### Chapitre 5 : Tests et validation

1. Matrice de validation au cahier des charges
2. Registre des tests

### Annexes

*Annexe 1* : Schémas électroniques

*Annexe 2* : Plans mécaniques

*Annexe 3* : Trajectographie