



**CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES**

Service Culture Spatiale du CNES  
18, avenue Edouard Belin - 31401 TOULOUSE CEDEX 9  
Tél. : ( ) 5 61 27 31 14 / Fax : ( ) 5 61 28 27 67  
Site Internet : www.cnes-edu.org



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 FUSEES EXPERIMENTALES MONO ETAGE</b>	
	<i>Noms et sigles</i>	<i>Date et Signatures</i>
Rédigé par :	- Clément MARION (Planète Sciences)	30 juin 2011 
Approuvé par :	- Jérôme HAMM (responsable des contrôles fusex Planète Sciences)  - Bruno LAZARE (pour le comité technique SSRJ et p/o responsable sauvegarde CNES)  - Nicolas PILLET (CNES/DCE/CS)	
Autorisé pour application par :	- Pierre TREFOURET (CNES/DCE/D)	

**CAHIER DES CHARGES  
pour FUSEES EXPERIMENTALES  
MONO ETAGES**

Cahier Planète Sciences/CNES

Références	FUSEX/CDC/1/CNES-PLASCI/V2.0
Version	2.2
Etat	<b>Pour diffusion</b>
Date d'édition	30 juin 2011
Nb pages	94

# REFERENCES

---

## Analyse documentaire

Classe (Confidentialité) : NC	Type : Cahier des charges vecteur
Mots clés : Fusée expérimentale / Cahier des charges / contrôles	
Rédacteur(s) : Olivier BOIREAU / Alain DARTIGALONGUE / Philippe DECAUDIN / Jean LAMOURE / Pierre LEBRUN / Francis LESEL / Olivier LIMAUX / Laurent REGNAULT / Clément MARION	
Résumé : Document de référence relatif aux conditions de qualification d'un projet fusée expérimentale.	
Date de première parution : 1998	Date de dernière mise à jour : 30 juin 2011
Gestion en configuration (figé ou amené à évoluer) : Oui	
Logiciel(s) hôte(s) : MS Word 2000 ®	Nombre de pages : 93
Emplacement :	

## Diffusion

Organisme/Groupe	Sigle	Nom
CNES	Responsable Sauvegarde	
CNES	CNES/DCE/D	Pierre TREFOURET
CNES	CNES/DCE/CS	Nicolas PILLET
CNES	CNES/IGQ	Bruno LAZARE
CNES	CNES/DCT/TV	Denis DILHAN, Pierre OMALY
CNES	CNES/DCT/SB	Nicolas VERDIER
CNES	CNES/DLA/SDT	Pierre SERIN, Florent PUEL
CNES	CNES/DLA/SFR	Jean OSWALD
CNES	Lanceurs fusex	Tous les lanceurs fusex
Planète Sciences	Responsable Sauvegarde	Clément MARION
Planète Sciences	Président	Jean-Pierre LEDEY
Planète Sciences	Responsable national activités espace	Paula BRUZZONE
Planète Sciences	Responsable permanent équipe suivi clubs	Amandine GUEURCE
Planète Sciences	Responsable bénévole contrôles fusex	
Planète Sciences	Animateurs fusex	Tous les animateurs Fusex recensés
Planète Sciences	Référents espace régionaux	Tous les référents espace dans les délégations, antennes et relais Planète Sciences
Clubs Planète Sciences		Tous les clubs Planète Sciences inscrits sur un projet fusex

## **Documents de références**

- [R1] Note technique « Le vol de la fusée, Stabilité et Trajectographie » version 2.0 de juillet 2008 édité par Planète Sciences.
- [R2] Note technique « Les parachutes des fusées expérimentales » de février 2002 édité par Planète Sciences.
- [R3] Article de la base documentaire sur la télémétrie analogique IRIG [http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/T%C3%A9l%C3%A9mesures\\_analogiques\\_IRIG](http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/T%C3%A9l%C3%A9mesures_analogiques_IRIG)
- [R4] Article de la base documentaire sur la télémétrie numérique FSK [http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/T%C3%A9l%C3%A9mesures\\_num%C3%A9riques\\_FSK](http://www.planete-sciences.org/espace/basedoc/T%C3%A9l%C3%A9mesures_num%C3%A9riques_FSK)
- [R5] Note technique « Emetteur KIWI manuel utilisateur » référence CS - 0001339 version 3.0 du 12/03/2009 édité par le CNES.
- [R6] Cahier des propulseurs « Les propulseurs des clubs aérospatiaux » version 1.5 de mars 2009 édité par Planète Sciences.
- [R7] Formulaire de demande de dérogations aux règles de ce cahier des charges, Onglet « 5-Dérogation » du « Dossier de projet » édité par Planète Sciences.

## Modifications / Historique du document

Version	Date	Modifications ... par ...	Approbation	Observations
antérieure	1998	Rédigée par Olivier BOIREAU / Alain DARTIGALONGUE / Philippe DECAUDIN / Jean LAMOURE / Pierre LEBRUN / Francis LESEL / Olivier LIMAUX		
2.0	12/10/04	Version modifiée par Laurent Regnault sur relecture Clément Marion, Alain Dartigalongue et Léo Come.		
		<p>Modifications apportées :</p> <p>IRIG 2 : P20 Excursion en fréquence à <math>\pm 20\%</math> et correction de la formule</p> <p>IRIG 3 : P20 Tableau des fréquences</p> <p>SNR 4 : P23 Explication du théorème de Shannon</p> <p>TEL 5 : P26 Valeur d'utilisation pour le Kiwi</p> <p>STOC 4 : P28 résistance à l'humidité en plus de l'autonomie</p> <p>Divers : P30 Explication des dérogations aux critères</p> <p>MEC 2 : P31 Explication du test de flèche (attache à la plaque de poussée)</p> <p>MEC 5 : P32 1.2 à la place de 0.052 dans le calcul de F</p> <p>MEC 8 : P32 possibilité de dérogation</p> <p>MEC 9 : P32 critère de tenue des masses.</p> <p>REC 2 : P36 Formule pour la descente sous parachute</p> <p>SEQ 1 : P40 Insiste sur l'indépendance électrique du séquenceur</p> <p>SEQ 5 : P41 Explication de l'entrée de forçage</p> <p>SECU 6 : P53 et P71 Schéma d'un interrupteur de sécurité pour un système pyrotechnique</p> <p>REC 13 : P56 Formule pour la force à l'ouverture</p> <p>REC 14 : P56 Anneau anti-torche ou émerillon</p> <p>Divers P78 Explication des dérogations aux critères</p> <p>STAB 3 : P78 <math>15 &lt; C_n &lt; 40</math></p> <p>STAB 4 : P78 <math>2 &lt; M_s &lt; 6</math></p> <p>STAB 5 : P78 <math>40 &lt; C_m (&lt; 100)</math> + explication et conséquence de la valeur max conseillée</p> <p>CP 3 : P85 Mention au Caribou effacée dans l'explication</p> <p>CP 5 : P84 Règle supprimée</p> <p>EXP 1 : P90 EXPL 1 devient EXP 1 + explication du Compte Rendu</p> <p>Liste des règles en page 94</p>		
2.1	15/10/2005	<p>Modification des règles :</p> <p>MEC 2 : P32 torsion en flèche dynamique de 600 grammes pour une fusée Isard et 800 grammes pour une fusée chamois</p> <p>MEC 5 : P32 coefficient de 0.104 pour le calcul de la masse à appliquer aux ailerons</p>		
2.2	27/05/2011	<p>Nouvelle révision réalisée avec le support du groupe technique CNES de suivi des projets spéciaux.</p> <p>Modification des règles :</p> <p>IRIG3 : P21, 22 modification afin d'ajouter les bandes passantes max.</p> <p>TEL6 : P27 modification afin de différencier le KIWI des autres émetteurs.</p> <p>MEC2 : P34 modification afin d'ajouter la flèche dynamique dans la règle. Suppression de la référence à l'ISARD.</p> <p>MEC3 : P34, 35 ajout du contrôle sur la résistance de la reprise de poussée. Le coefficient passe de 0.104 à 0.1.</p> <p>MEC9 : P34 reformulation pour plus de clarté.</p> <p>SEQ5 : P45 reformulation pour plus de clarté.</p> <p>SECU1 : P69, 70 modification afin de remplacer l'interdiction par une inhibition au neutre pour le roulis lors de la phase propulsée. Reformulation de l'explication associée.</p> <p>CP1 : P85 modification de la règle et ajout de la description du contrôle associé.</p> <p>CP2 : P85 modification de la règle et ajout de la description du contrôle associé.</p> <p>CP3 : P85 modification afin d'interdire les rétreints couvrant la bague inférieure du propulseur. Ajout d'un schéma.</p> <p>CP4 : P85, 86 ajout de la règle concernant les brides de retenue et l'explication associée.</p>		

## SOMMAIRE

<b>REFERENCES</b> .....	<b>2</b>
ANALYSE DOCUMENTAIRE .....	2
DIFFUSION .....	2
DOCUMENTS DE REFERENCES .....	3
MODIFICATIONS / HISTORIQUE DU DOCUMENT .....	4
<b>AVERTISSEMENT</b> .....	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>8</b>
1.1. BUT DE CE DOCUMENT.....	9
1.2. ORGANISATION DU DOCUMENT.....	9
<b>2. DEFINITION DE LA FUSEE ET DE SON ENVIRONNEMENT</b> .....	<b>11</b>
2.1. DEFINITION D'UNE FUSEE EXPERIMENTALE.....	12
2.2. METHODE .....	12
<b>3. L'EXPERIENCE</b> .....	<b>14</b>
3.1. PHYSIQUE DE L'EXPERIENCE .....	15
3.2. LA CHAINE DE MESURE .....	19
3.2.1. <i>Caractéristiques générales</i> .....	19
3.2.2. <i>Fusées avec télémessure</i> .....	21
3.2.2.1. Télémessure analogique IRIG .....	21
3.2.2.2. Télémessure numérique SNR .....	23
3.2.2.3. Autres systèmes de télémessure .....	25
3.2.2.4. L'émetteur.....	27
3.2.3. <i>Fusées sans télémessure</i> .....	29
<b>4. LA STRUCTURE MECANIQUE</b> .....	<b>32</b>
<b>5. LE SYSTEME DE RECUPERATION</b> .....	<b>40</b>
5.1. LE SYSTEME DANS SON ENSEMBLE.....	41
5.2. L'INITIALISATION.....	43
5.3. LE SEQUENCEUR .....	45
5.4. L'EFFICACITE DU SYSTEME DE LIBERATION DU RALENTISSEUR .....	51
5.4.1. <i>Système de type 'séparation transversale'</i> .....	51
5.4.2. <i>Système de type 'porte latérale'</i> .....	53
5.4.3. <i>Autres types de système</i> .....	55
5.5. LE RALENTISSEUR .....	57
<b>6. LE SYSTEME DE LOCALISATION</b> .....	<b>60</b>
6.0.1. <i>Dans le cas d'une localisation radio</i> .....	61
6.0.2. <i>Dans le cas d'une localisation par fumigènes ou traceurs</i> .....	61
<b>7. QUALITE</b> .....	<b>64</b>
<b>8. SECURITE</b> .....	<b>68</b>
8.1. POINTS GENERAUX DE SECURITE .....	69
8.2. UTILISATION DE SYSTEMES PYROTECHNIQUES .....	71
8.3. UTILISATION DE SYSTEMES PNEUMATIQUES .....	73
8.4. SECURITE ELECTRIQUE.....	75
<b>9. MISE EN ŒUVRE</b> .....	<b>78</b>
9.1. STABILITE .....	79
9.2. COMPATIBILITE RAMPE .....	81
9.2.1. <i>Compatibilité propulseur</i> .....	85
9.3. CHRONOLOGIE .....	87
<b>10. L'EXPLOITATION DES RESULTATS</b> .....	<b>90</b>
LISTE DES REGLES : .....	93

# **Avertissement**

---

Cette version annule et remplace les précédentes.

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

Pour les modalités propres aux fusées bi-étages et aux navettes, vous devez contacter PLANETE SCIENCES qui traitera ces projets au cas par cas.

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 animateurs 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. 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 revue de définition. Ils seront alors négociés au cas par cas.**

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.

# **1. Introduction**

---

## 1.1. 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 !).

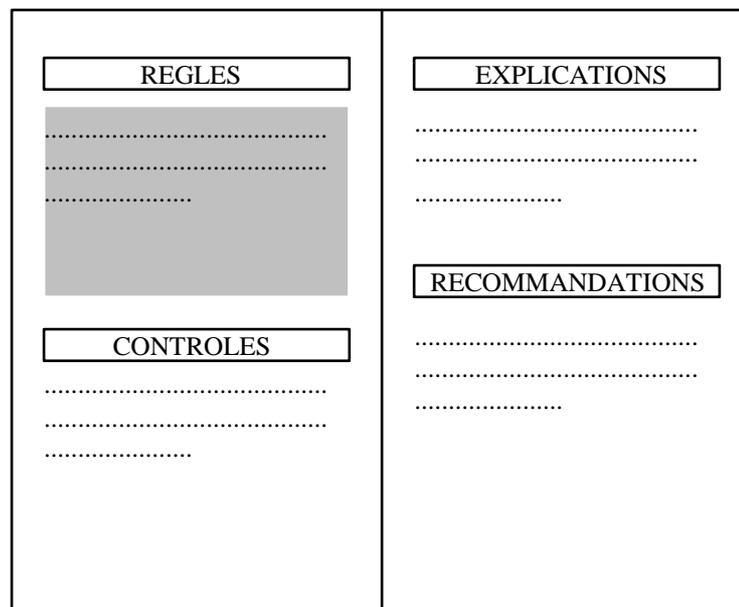
**Ce document n'est pas destiné à être un obstacle à votre création mais un guide d'aide à la conduite de projets.**

## 1.2. Organisation du document

Une fusée expérimentale 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, nous avons adopté une approche méthodique pour sa structuration.

- 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 :



- Page de gauche :
  - 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.
- Page de droite :
  - les explications : 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.

## **2. Définition de la fusée et de son environnement**

---

## **2.1. Définition d'une fusée expérimentale**

Le CNES et PLANETE SCIENCES qualifient de fusée expérimentale 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.
- Elle est propulsée par un seul moteur, délivré par le CNES.
- Sa conception doit permettre une mise en œuvre et un lancement qui ne transgressent pas les règles de sécurité.
- Elle respecte le cahier des charges.

Remarque : La conception de moteurs spécifiques, certifiés par des professionnels et le CNES, peut être exceptionnellement envisagée.

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.

## **2.2. Méthode**

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 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 propulseur.

Ces points sont détaillés dans le document « Programme annuel des Clubs Spatiaux » (PACS) et dans le « Contrat moral espace ».

La démarche suivante devra être adoptée :

<u>Phase du projet:</u>	<u>se concluant par :</u>
• Définition de l'expérience	<b>la définition d'objectif + la première visite</b>
• Dimensionnement général <ul style="list-style-type: none"><li>- expérience</li><li>- choix du vecteur</li><li>- étude des points délicats</li></ul>	<b>l'étude de faisabilité + la revue de définition</b>
• Etude détaillée	<b>le dossier de conception + la revue de conception</b>
• Réalisation des sous-ensembles	
• Intégration	
• Etalonnage et mise au point	<b>la visite d'avancement</b>
• Les contrôles	<b>la qualification</b>
• Mise en œuvre et lancement	<b>le lancement</b>
• Récupération du vecteur et des données de vols	
• Exploitation des données	
• Résultats	<b>le compte-rendu d'expérience</b>

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

## **3. L'expérience**

---

### **3.1. Physique de l'expérience**

L'expérience consiste à analyser un phénomène physique. 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 mesure 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.

#### **CONTROLE**

Vérification de l'existence de ces points dans l'étude de faisabilité lors de la revue de définition et des contrôles sur la campagne de lancement.

## EXPLICATIONS

OBJ1 : On cherche à analyser un phénomène ou le fonctionnement d'un système.

*Exemple* : on cherche à caractériser les contraintes aérodynamiques sur le déplacement d'un mobile. On veut comparer la force de ralentissement due à l'air, entre la fusée assemblée et la fusée sous parachute. La note technique sur le vol de la fusée référence [R1] et la note technique sur les parachutes référence [R6] nous apprennent que cette contrainte aérodynamique est mesurée par le  $C_x$  (coefficient de traînée longitudinale).

OBJ2 : Pour caractériser le phénomène, on est amené à effectuer des mesures nous donnant les valeurs numériques expérimentales de certains paramètres (étude quantitative).

*Exemple* : il s'avère très difficile de mesurer directement la force exercée par les contraintes aérodynamiques (force répartie sur tout le corps de la fusée, puis sur les suspentes du parachute).

Pour contourner le problème, on décide de mesurer l'altitude, capable de nous donner la vitesse verticale de la fusée (variation de l'altitude au cours du temps). La vitesse réelle de la fusée, que l'on obtiendra en faisant intervenir l'inclinaison de la fusée pendant le vol (fournie par le logiciel TRAJEC de PLANETE SCIENCES), nous donnera le  $C_x$ , les autres paramètres du vol étant supposés connus (poussée du moteur, ...).

OBJ3 : Pour mener à bien l'expérience, la mesure de chaque paramètre doit se faire dans une gamme donnée et avec une précision requise.

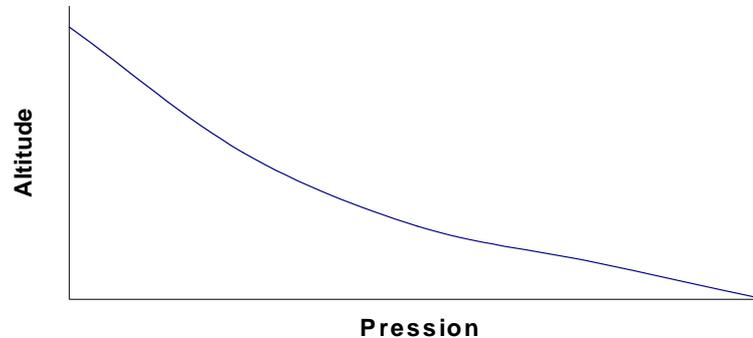
*Exemple* : on souhaite estimer la différence entre la traînée de la fusée et celle du parachute. Une précision de  $\pm 20\%$  sur le  $C_x$  doit être acceptable. Pour cela, on souhaite mesurer l'altitude plus précisément (pour garder de la marge) :  $\pm 10\%$ . De plus, on souhaite mener l'expérience en subsonique (vitesse plus faible que celle du son = 340 m/s), car cela se compliquerait au-delà. Une altitude minimale de 1500 m semble nécessaire pour avoir un temps de mesure et des écarts significatifs. Le propulseur Chamois semble idéal. La variation d'altitude maximale estimée avec TRAJEC est de :  $0 < h < 2000$  m.

METH1 : Souvent, le paramètre à mesurer n'est pas directement disponible, on ne dispose pas du capteur donnant directement la valeur du paramètre ; il faut, en fait, en mesurer un autre qui lui est étroitement lié.

*Exemple* : il n'existe pas de capteurs abordables donnant directement l'altitude, par contre il est facile de mesurer la pression atmosphérique qui y est très liée.

METH2 : Il faut déterminer la formule, la courbe ou l'abaque (courbe expérimentale) qui lie le paramètre à mesurer et celui qui est effectivement mesuré.

Exemple : la table de l'atmosphère moyenne donne la courbe :



METH3 : Pour être sûr d'obtenir les performances définies par l'objectif, il faut essayer de prévoir les différentes sources d'erreurs.

Exemple :

*Dat du capteur : le fabricant indique  $\pm 3\%$ .*

*Approximation de la formule de conversion, lecture de la courbe et non-linéarité :  $\pm 5\%$*

*Méconnaissance de certains paramètres : pression atmosphérique au sol le jour du lancement  $\pm 1\%$ .*

*Défauts de la chaîne électronique  $\pm 5\%$*

...

METH4 : Il faut prévoir la méthode permettant d'exploiter les données obtenues durant le vol de la fusée et d'en déduire des résultats et conclusions d'expérience, conformément à l'objectif de l'expérience.

Exemple : je prévois de mesurer avec le baromètre du salon la pression atmosphérique qui me permettra, en reprenant à l'envers les étapes précédentes, d'en déduire le Cx. Pour chaque opération, je choisis définitivement ma méthode et un matériel adéquat.

## RECOMMANDATIONS

La plupart du temps, tous ces points sont étroitement liés et il faut parfois revenir en arrière pour assurer la cohérence de l'ensemble.

Ces points sont généralement abordés par le club au début du projet. Il suffit juste de penser à les mettre clairement par écrit à ce moment là.

Cette page est laissée volontairement vide

## **3.2. La chaîne de mesure**

### **3.2.1. Caractéristiques générales**

#### **REGLES**

Définition de la chaîne de mesure:

**DEF1:** Le club doit choisir les maillons de la chaîne de mesure (capteurs, conditionneurs, codeurs, ...) à partir des performances requises.

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

Réalisation de la chaîne de mesure:

**REA1** : Le club doit établir les plans de tous les sous-ensembles électriques et mécaniques.

**REA2** : Le club doit établir les plans de câblage électrique.

**REA3** : Le club doit établir les plans d'intégration électronique-mécanique.

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

**MES2** : La chaîne de mesure globale doit avoir une autonomie d'au moins 45 minutes.

#### **CONTROLES**

DEF1,2 , REA1,2,3 : Vérification de l'existence de ces points dans le dossier de conception et lors des contrôles sur la campagne de lancement.

MES1 : Pour chaque voie de mesure, vérification de la courbe d'étalonnage présentée par le club en reprenant certains points de la courbe. Pour cela, on fera varier le paramètre physique mesuré par le capteur entre ses valeurs extrêmes ou on simulera le capteur.

MES2 : Mesure du courant consommé par la chaîne globale à l'aide d'un ampèremètre, puis estimation de l'autonomie en fonction de la capacité des sources d'alimentation (piles, batteries, ...).

## EXPLICATIONS

DEF1 : A partir de l'étude de l'objectif et de la méthode pour l'atteindre, on choisit chaque maillon de la chaîne en fonction des performances requises, mais aussi en fonction des composants disponibles sur le marché et du budget du club.

DEF2 : Une fois ces choix faits, il faudra s'assurer que l'on est capable d'étalonner chaque voie de la chaîne de mesure, et définir précisément la méthode d'étalonnage retenue pour chacune des voies.

Par étalonnage on entend mesure de la fonction qui relie la valeur mesurée par le capteur à la valeur codée (sous forme de fréquence pour IRIG, sous forme d'octet pour SNR, ...).

REA1,2,3 : Pour pouvoir réaliser concrètement la chaîne de mesure il faut, après l'avoir définie, faire des plans de réalisation.

MES1 : Pour que l'expérience puisse être correctement exploitée, il faut que les voies de mesure aient été étalonnées afin d'obtenir des valeurs numériques pour les paramètres mesurés durant le vol.

MES2 : Les arrêts de chronologie pouvant intervenir à tout instant, sans que l'on puisse couper l'alimentation de la fusée, une autonomie de 45 minutes n'est pas superflue. Elle assure la réussite de l'expérience.

## RECOMMANDATIONS

Trop souvent, les plans ne sont pas régulièrement mis à jour, ce qui peut avoir des conséquences dramatiques quand survient un incident à la campagne, où personne ne se souvient plus, dans la panique, comment fonctionne le système.

Il ne faut pas négliger l'importance des plans de câblage, car des systèmes qui fonctionnent indépendamment les uns des autres, peuvent ne plus être opérant une fois connectés ensemble.

Une autonomie de 45 minutes est le strict minimum, on vous recommande vivement d'avoir une autonomie supérieure.

## 3.2.2. Fusées avec télémesure

### 3.2.2.1. Télémesure analogique IRIG

Ce paragraphe concerne uniquement les fusées à télémesure analogique, utilisant les bandes de modulation IRIG à  $\pm 20\%$ .

#### REGLES

**IRIG1** : Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de télémesure : capteur, conditionneur, VCO, multiplexeur, émetteur (voir figure 1).

**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 Hz	15600 Hz	2600 Hz

**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 45 minutes.

#### CONTROLES

**IRIG1** : Vérification de la présence des points de test et cavaliers (des « jumpers » que l'on peut trouver par exemple sur les cartes mère des PC).

**IRIG2** : Mesure de la fréquence en sortie des VCO à l'aide d'un fréquencemètre en faisant varier le paramètre physique mesuré par le capteur entre ses valeurs extrêmes ou en simulant le capteur. Pour chaque bande on doit avoir :

$$\left| \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2.F_0} \right| \leq 20\% \quad \text{avec } F_0 = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$$

**IRIG3** : Vérification des bandes IRIG utilisées.

**IRIG4** : Comparaison du niveau des signaux des différentes voies à l'entrée du multiplexeur.

MES2 : Mesure du courant consommé par la chaîne globale à l'aide d'un ampèremètre, puis estimation de l'autonomie en fonction de la capacité des sources d'alimentation (piles, batteries, ...).

### EXPLICATIONS

IRIG1 : Les points de test et cavaliers n'influent en rien sur la mesure et permettent un contrôle plus rapide de votre chaîne de télémétrie. De plus, vous serez très contents de les avoir ne serait ce que pour votre propre mise au point.

IRIG2,3 : Le discriminateur fourni par PLANETE SCIENCES coupe brutalement au-delà d'une fréquence légèrement supérieure à 15 kHz Les données seraient alors perdues à tout jamais au fin fond de l'univers ...

IRIG4 : Un déséquilibre éventuel entre les voies peut empêcher une exploitation correcte des données reçues au sol. En pratique, une voie plus faible sera plus bruitée que les autres. Il n'est pas difficile d'équilibrer toutes les voies à des niveaux de sortie équivalents.

### RECOMMANDATIONS

La majorité des expériences embarquées ne nécessitent pas l'utilisation de canaux IRIG allant au delà de 15 kHz.

Pour éviter les problèmes d'intermodulation, il est conseillé de filtrer les signaux commandant les VCO dans la bande passante utile du signal mesuré, qui doit être inférieure à la bande passante du canal IRIG utilisé.

Reportez vous à l'article de la base documentaire référence [R3] pour tout savoir sur le protocole de la télémétrie analogique qui vous est proposée.

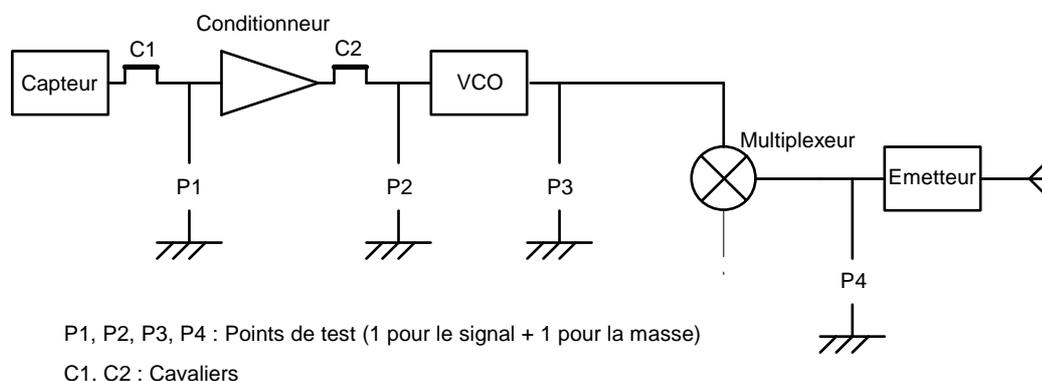


FIG. 1 - Implantation des picots de test et cavaliers pour une télémétrie analogique IRIG.

### 3.2.2.2. Télémessure numérique 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, ampli de sortie, émetteur (voir figure 2).
- 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 45 minutes.

#### CONTROLES

SNR1 : Vérification de la présence des points de test et cavaliers.

SNR2 : Vérification d'une bonne réception des données avec le logiciel SNR.

SNR3 : Mesure au fréquencemètre des fréquences à l'entrée de l'émetteur.

SNR4 : Relevé de la réponse fréquentielle de chaque filtre anti-repliement.

MES2 : Mesure du courant consommé par la chaîne globale à l'aide d'un ampèremètre, puis estimation de l'autonomie en fonction de la capacité des sources d'alimentation (piles, batteries, ...).

## EXPLICATIONS

SNR est le standard de télémétrie numérique proposé par PLANETE SCIENCES et décodable par le matériel associatif.

Reportez vous à l'article de la base documentaire référence [R4] pour tout savoir sur le protocole de la télémétrie numérique qui vous est proposée.

SNR1 : Ces points de test et cavaliers permettront de vérifier tous les blocs de la chaîne indépendamment les uns des autres.

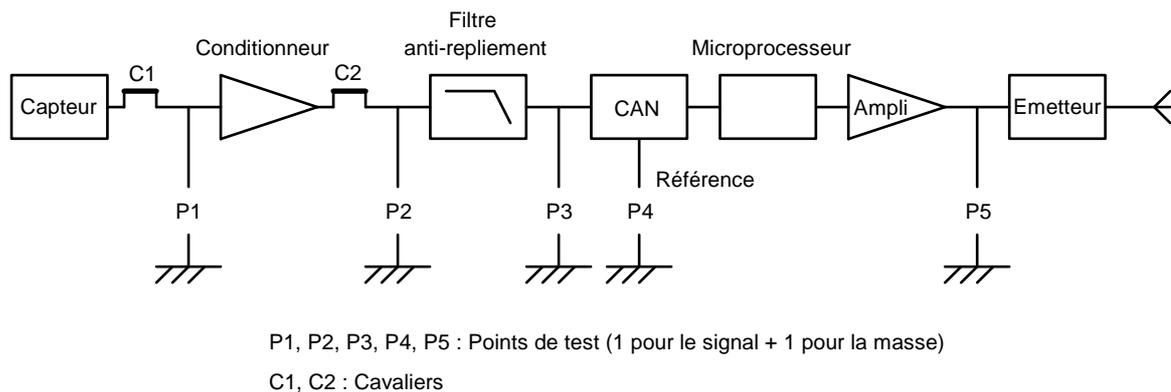


FIG. 2 - Implantation des picots de test et cavaliers pour une télémétrie numérique

SNR2 : Le logiciel de réception ne peut décoder les voies de télémétrie que si la trame est respectée.

SNR3 : Par construction, le discriminateur ne peut pas décoder d'autres fréquences que celles spécifiées dans l'article de la base documentaire référence [R4].

SNR4 : Il s'agit du théorème de Shannon. Si on échantillonne à la fréquence  $F$  un signal, celui-ci ne doit pas dépasser la fréquence  $F/2$ . C'est à cela que sert le filtre anti-repliement qui se trouve avant le CAN (Convertisseur Analogique Numérique).

### 3.2.2.3. Autres systèmes de télémésure

Ce paragraphe ne concerne que les fusées dont la télémésure 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 télémésure.

**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 45 minutes.

#### CONTROLES

TEL1 : Vérification de la présence des points de test et cavaliers.

TEL2 : Essais de transmission et coupures multiples de l'émission et de la réception. La transmission doit se resynchroniser toute seule.

TEL3 : Vérification de la cohérence des données décodées.

TEL4 : Essai de décodage de données ayant été stockées.

MES2 : Mesure du courant consommé par la chaîne globale à l'aide d'un ampèremètre, puis estimation de l'autonomie en fonction de la capacité des sources d'alimentation (piles, batteries, ...).

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

TEL1 : Ces points de test et cavaliers permettront de vérifier tous les blocs de la chaîne indépendamment les uns des autres.

TEL4 : Les enregistreurs magnétiques de PLANETE SCIENCES ont une bande passante audio Hi-fi de 20 Hz à 20 kHz

### 3.2.2.4. L'émetteur

#### REGLES

**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 un autre émetteur, il devra indiquer la fréquence et la puissance d'émission dans le dossier de conception.

**TEL6 :** La puissance HF émise doit être :

- supérieure à 150 mW dans le cas d'utilisation d'un émetteur KIWI.
- comprise entre 10 mW et 200 mW dans tous les autres cas.

**TEL7 :** L'émetteur doit avoir sa propre alimentation, avec un interrupteur de mise sous tension indépendant des autres interrupteurs. L'autonomie de l'émetteur doit être d'au moins 45 minutes.

**TEL8 :** Le TOS (Taux d'Ondes Stationnaires) doit être inférieur à 2 (à la fréquence d'émission).

#### CONTROLES

TEL5,6 : - Dans le cas de l'utilisation d'un émetteur KIWI :

Vérification du respect des spécifications d'utilisation de l'émetteur (cf. manuel utilisateur du KIWI référence [R5]).

- Dans le cas contraire :

Vérification du bon fonctionnement du couple émetteur-récepteur, avec notamment mesure de la puissance de l'émetteur. Le détail des contrôles est à négocier avec PLANETE SCIENCES lors de la revue de définition.

TEL7 : Vérification du câblage de l'émetteur et mesure du courant consommé par l'émetteur à l'aide d'un ampèremètre, puis estimation de l'autonomie en fonction de la capacité des sources d'alimentation (piles, batteries, ...).

TEL8 : Mesure du TOS grâce à un TOSmètre intercalé entre l'émetteur et l'antenne.

Attention : Pour que la mesure soit significative, on doit pouvoir intercaler le TOSmètre entre l'émetteur et l'antenne sans modifier la structure de la fusée. Le TOSmètre de PLANETE SCIENCES est équipé de prises BNC.

## EXPLICATIONS

TEL5 : La partie la plus difficile à réaliser de la chaîne de télémétrie est la partie émission-réception ; c'est pour cela que PLANETE SCIENCES met à la disposition des clubs un émetteur et un système de réception.

Les clubs peuvent toutefois réaliser eux-mêmes leur système d'émission et de réception, mais il devra être suffisamment performant pour transmettre dans de bonnes conditions les données de l'expérience, et il devra respecter la réglementation en vigueur.

PLANETE SCIENCES a besoin de connaître la fréquence et la puissance de tous les émetteurs pour vérifier la compatibilité avec le reste des opérations sur l'aire de lancement.

TEL6,8 : Il serait dommage de faire une belle expérience et de ne rien recevoir à cause d'une puissance d'émission trop faible ou d'une antenne mal réglée.

TEL7 : L'émetteur doit disposer d'une alimentation spécifique pour éviter toute transmission de perturbations aux autres circuits électroniques par l'intermédiaire des câbles d'alimentation.

Par ailleurs, pendant les contrôles on souhaite parfois alimenter l'émetteur sans envoyer de modulation ou tester l'électronique sans être autorisé à faire fonctionner l'émetteur. Il faut donc que l'alimentation électrique de l'émetteur soit équipée d'un interrupteur spécifique.

## RECOMMANDATIONS

Il est recommandé d'utiliser un plan de masse pour l'antenne, afin que l'insertion du TOSmètre ne modifie pas trop les caractéristiques de celle-ci, et que l'on puisse donc réellement mesurer le TOS.

Si vous placez l'alimentation de l'émetteur ou son interrupteur assez loin de l'émetteur, les câbles d'alimentation risquent de rayonner des perturbations sur le reste de l'électronique. Placez les donc assez près de l'émetteur.

Laisser facilement accessible les petits interrupteurs rouges de l'émetteur KIWI afin de pouvoir basculer d'une fréquence à l'autre jusqu'au dernier instant.

### 3.2.3. Fusées sans télémesure

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 45 minutes.

#### CONTROLES

Contrôles spécifiques à chaque système.

## EXPLICATION

STOC4 : La fusée peut être lancée quatre jours avant la phase de récupération. Il s'agit de ne pas perdre les données pendant ce temps. La fusée passe la nuit dehors dans l'herbe, au froid et à la rosée du matin, ou pire : sous la pluie.

## RECOMMANDATION

Dans le cas d'un stockage numérique, préférez une EEPROM à une RAM.

Afin d'éviter des problèmes d'enregistrement par dessus les informations stocké durant le vol, il est conseillé de mettre une visualisation du mode opératoire de la mémoire (enregistrement/lecture).

Suite à un atterrissage brutal ou d'une mauvaise manipulation de la fusée, assurez vous que la mémoire de s'efface pas.

Cette page est laissée volontairement vide

## **4. La structure mécanique**

---

Ce paragraphe quantifie la tenue structurelle générale de la fusée.

Il ne correspond pas dans sa pagination au reste du cahier des charges. Ceci est dû au fait que des schémas étant plus explicites que de longs discours, la partie « contrôles » prend plus de deux pages...

Les critères doivent être suffisamment simples à évaluer pour que les clubs puissent les tester eux même. Cela implique certaines simplifications et donc des marges de sécurité élevées.

De plus des raisons historiques, comme accidents de tir, ont fait évoluer ces règles qui peuvent sembler parfois exagérées

**DEROGATIONS** : 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 convint PLANETE SCIENCES et les contrôleurs du bien fondé de sa demande.

## REGLES

**MEC1** : Le club doit réaliser les plans mécaniques de chaque pièce ainsi que de l'intégration.

**MEC2** : Flèche

La flèche statique doit être inférieure ou égal à 1 % (10 mm/m).

La flèche dynamique doit être inférieure ou égal à 1% par rapport à la position à vide (flèche statique).

**MEC3** : Tenue en compression :

Chaque élément de la fusée doit pouvoir supporter une compression équivalente à  $F = 2 \times \text{Accélération Max} \times M_{\text{sup}}$  (en NEWTON)

où  $M_{\text{sup}}$  est la masse de la partie supérieure (numériquement la masse en kg et l'accélération en  $\text{m/s}^2$  donnent F en Newton).

Particulièrement, la bague de reprise de la poussée doit résister à la poussée maximale du propulseur.

**MEC4** : Résistance longitudinale des ailerons :

Les ailerons doivent pouvoir supporter une force longitudinale de :

$F = 2 \times \text{Masse d'un aileron} \times \text{Accélération Max}$  (numériquement la masse en kg et l'accélération en  $\text{m/s}^2$  donnent F en Newton)

**MEC5** : 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  $\text{m/s}$ ).

**MEC6** : Alignements des ailerons  $< 1^\circ$

**MEC7** : Angle entre deux ailerons consécutifs :  $90^\circ \pm 10^\circ$

**MEC8** : Les ailerons ou les fixations d'ailerons en matériaux composites sont interdits pour les fusées dont la vitesse dépasse Mach 0,8. Sauf justification du club agréée par PLANETE SCIENCES.

**MEC9** : Les éléments de la fusée doivent rester fixés jusqu'au déclenchement du système de récupération et doivent ensuite restés liés les uns aux autres.

## CONTROLES

MEC1 : Vérification de l'existence de ces plans dans le dossier de conception.

MEC2 : La flèche est mesurée à partir de la plaque de poussée quand la fusée maintenue par le moteur vide à l'horizontal. La mesure se fait 4 fois en tournant la fusée d'un quart de tour (porte en haut, en bas, à droite, à gauche). La flèche à vide doit être  $\leq 1\%$

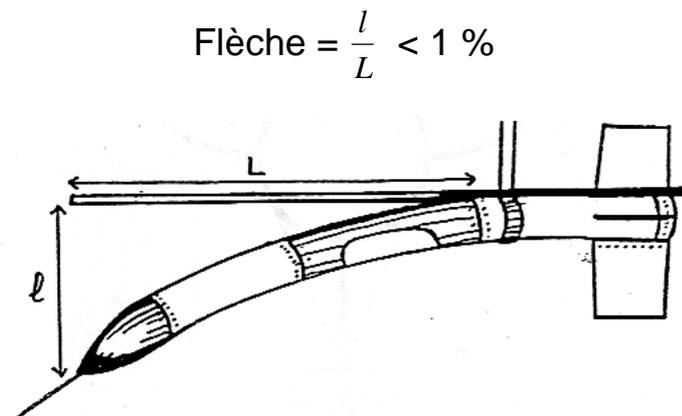


FIG. 3 - Contrôle de la flèche

Refaire le même test avec une masse de 800 grammes appliquée au bas de l'ogive (haut du corps). La flèche doit être  $\leq 1\%$  par rapport à la position à vide.

Ce double test garantit à la fois que la fusée ne comporte pas une flèche critique à vide (effet banane) et d'autre part que la tenue mécanique en flexion de la fusée résistera aux efforts du vol sans influencer de façon critique sur celui-ci.

MEC3 : Pour contrôler la tenue en compression d'un élément de la fusée, on applique sur cet élément une force  $F = 2 \times \text{Accélération Max} \times M_{\text{sup}}$ , où  $M_{\text{sup}}$  est la masse de la partie de la fusée supérieure de l'élément.

La résistance de l'ensemble de la fusée sera aussi contrôlée avec la présence d'une enveloppe propulseur s'appuyant sur la bague de poussée.

MEC4 : La force  $F = 2 \times \text{Masse d'un aileron} \times \text{Accélération Max}$  est appliquée en bout d'ailerons. Le contrôle peut être réalisé de différentes manières, suivant la configuration des ailerons (cf. figure 4).

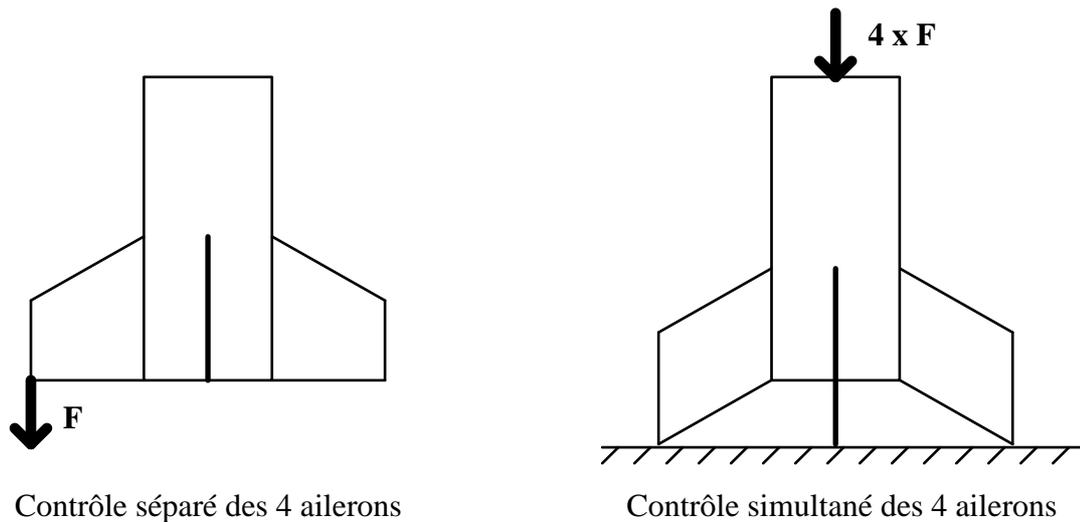


FIG. 4 - Résistance longitudinale des ailerons.

MEC5 : La force est appliquée au centre de gravité des ailerons. On contrôle simultanément 2 ailerons diamétralement opposés en appliquant le double de la force  $F = 0.1 \times \text{Surface d'un aileron} \times V_{\text{max}}^2$ . On doit alors avoir  $d \leq l \times \text{Tg}10^\circ$  (voir figure 5).

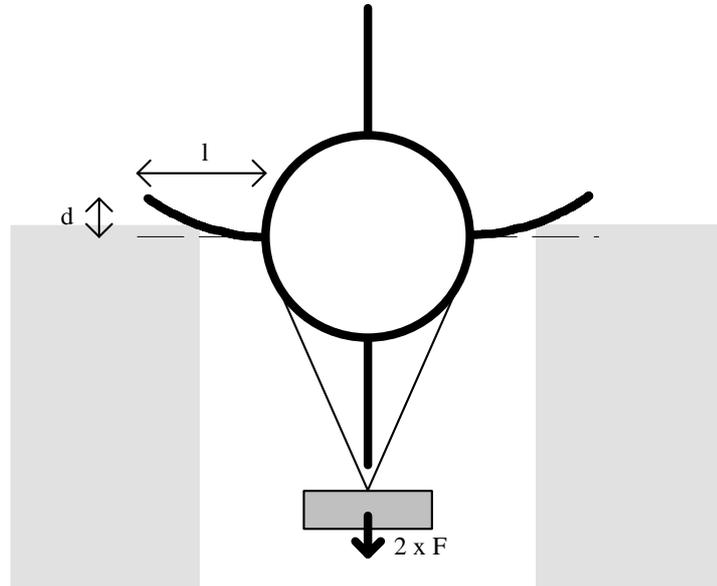


FIG. 5 - Résistance transversale des ailerons.

MEC6 : L'alignement est mesuré comme suit :

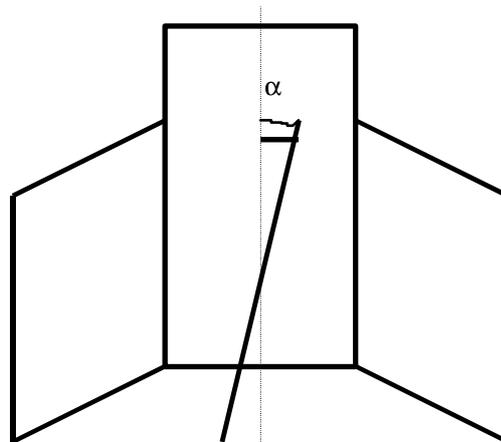


FIG. 6 - Alignement des ailerons.

Il faut  $\alpha < 1^\circ$  (ce qui représente un décalage de 1,7 mm/m).

MEC7 : La perpendicularité est mesurée ainsi :

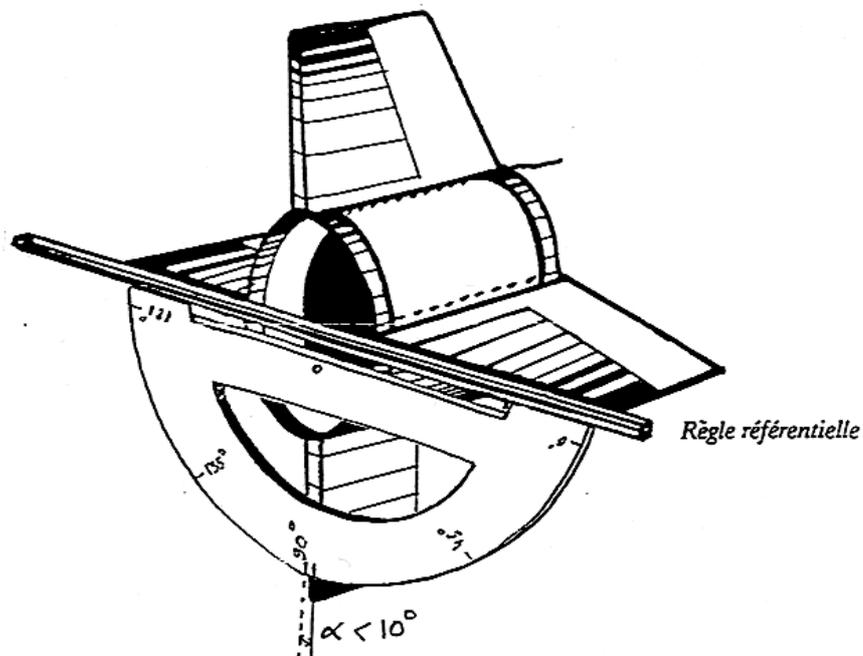


FIG. 7 - Perpendicularité des ailerons.

MEC8 : On vérifiera que la vitesse maximale des fusées ayant des ailerons ou des fixations d'ailerons en matériaux composites est inférieure à Mach 0,8.

MEC9 : Tous les éléments de la fusée doivent rester fixés durant toute la durée du vol (jusqu'à l'impact au sol), et ce malgré les contraintes liées à l'accélération et à la décélération du propulseur ainsi qu'aux efforts aérodynamiques subits.

Tous les éléments internes et externes de la fusée doivent être fixés avec la plus grande attention. La fusée devra pouvoir être secouée vivement (manuellement) dans tous les sens lors des contrôles. Les « grosses masses » (moteur électrique, piles, ...) devront résister à une force équivalente à 1,5 fois (coefficient de sécurité) sa masse multipliée par l'accélération maximale de la fusée (donnée par le logiciel Trajec).

Quand cela le justifie (exemple : goupille), on pourra accepter que certains éléments se détachent durant le vol. On impose cependant que ces derniers restent reliés à la fusée jusqu'à sa récupération. On étudiera alors attentivement à la fois les conséquences possibles de perturbations de la stabilité de la fusée engendrées par cette perte de masse ainsi que la protection des personnes.

Par mesure de sécurité, dans le cas de gouilles sortantes, il est demandé de respecter un écart de 90° entre l'axe de la goupille et l'axe d'accessibilité des commandes de la fusée (interrupteurs, ...).

## EXPLICATIONS

MEC2 : Une flèche faible est garante d'une bonne intégrité de la structure et permet de rester dans le domaine de validité du calcul de stabilité.

MEC3 : Le meilleur exemple des problèmes de compression est celui de la canette de coca : une canette vide en bon état supporte largement votre propre poids si vous montez dessus. Par contre si elle possède une bosse ou un petit trou, elle s'écrase violemment. Donc une ouverture dans la peau peut entraîner des problèmes de tenue en compression.

MEC4,5,6,7 : Pour rester stable, la fusée a besoin de garder ses ailerons bien positionnés. Un aileron peut supporter les efforts longitudinaux et transversaux tout en pliant, d'où le critère de flèche des ailerons. Plus vous apporterez de soin dans l'alignement des ailerons, moins votre fusée aura de chances de tourner autour de son axe pendant le vol.

MEC8 : Aucun contrôle suffisamment simple ne permet de garantir la résistance des ailerons composites au passage du Mach. Pour toute demande de dérogation, utilisé le formulaire référence [R7].

MEC9 : Pour des raisons de stabilité, il est important que le centre de gravité ne soit pas trop modifié durant le vol.

## **5. Le système de récupération**

---

## 5.1. Le système dans son ensemble

### REGLES

- REC1** : La fusée doit être équipée d'un système ralentisseur fiable permettant de réduire sa vitesse de descente. L'éjection du ralentisseur doit être franche.
- REC2** : Le système ralentisseur doit permettre une arrivée au sol à moins de 15 m/s.
- REC3** : La fusée doit descendre suffisamment rapidement pour rester dans le gabarit autorisé (Contacter Planète Science pour avoir les informations relative au terrain).
- REC4** : L'instant de déploiement du système ralentisseur doit être compatible avec l'expérience menée par le club.
- REC5** : Le club doit réaliser les plans des différents éléments mécaniques du système de récupération et de leur intégration.

### CONTROLES

REC1 : On vérifiera le fonctionnement du système de récupération en simulant le vol de la fusée. Ce contrôle sera spécifique au système de récupération employé et sera réalisé 3 fois successives pour s'assurer de la fiabilité du système.

REC2 : On calculera la vitesse de descente  $V_d$  d'un parachute comme suit :

$V_d$  est calculée en utilisant la formule :  $V_d = \sqrt{\frac{2.M.g}{\rho_0.C_x.S}}$

où  $M$  est la masse en Kg de la fusée avec un propulseur vide

$S$  est la surface du parachute déployé

$g = 9,81$

$\rho_0 = 1,3$

$C_x = 1$

Autres types de ralentisseur :

La valeur de  $V_d$  doit être prouvée par calcul ou par essai (cette preuve doit être présentée dans le dossier de conception).

REC3 : Calcul du temps de descente (à partir de  $V_d$ ).

REC4 : On mesurera l'instant effectif de déploiement du ralentisseur et on vérifiera qu'il correspond bien à l'objectif du club.

REC5 : Vérification de l'existence de ces plans dans le dossier de conception.

## EXPLICATIONS

REC1 : Le but est de récupérer la fusée en bon état.

REC2,3 : La descente de la fusée doit être suffisamment lente pour que l'atterrissage de la fusée se fasse en douceur (cf note technique sur les parachutes référence [R2]) mais elle doit aussi être suffisamment rapide pour éviter un éloignement trop important de la fusée portée par le vent entraînant une sortie du gabarit autorisé.

En générale on a  $V_d > 8\text{m/s}$

REC4 : En général les clubs choisissent de déployer leur ralentisseur à culmination car c'est à ce moment là que les contraintes qui s'exercent sur ce système sont les plus faibles.

## RECOMMANDATION

Utilisez des couleurs voyantes pour le matériel à récupérer : fusée/module et parachute. Le blanc ou les couleurs de camouflages sont vivement déconseillées. Préférez des couleurs vives telles que le rouge ou l'orange qui se voient bien dans le ciel et qui permettent facilement de retrouver votre projet une fois celui-ci au sol.

## **5.2. 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.

**INI2** : L'initialisation à partir de la ligne de mise à feu est interdit. Par contre un Top feu est disponible au pupitre de mise à feu pour commander des systèmes annexes non embarqués (appareil photo, ...).

### **CONTROLE**

INI1 : Vérification de la reproductibilité du processus d'initialisation.

## EXPLICATIONS

INI1 : Lors 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 oeuvre.

INI2 : Le pyrotechnicien souhaitant avoir la maîtrise totale de l'allumage du propulseur, aucune intervention sur la ligne de mise à feu n'est possible.

Le Top feu correspond à la fermeture d'un contact entre 2 bornes lors de l'appui sur le bouton de mise à feu.

## RECOMMANDATION

Si vous utilisez une prise arrachable pour l'initialisation, préférez un initialiseur qui rompt un contact plutôt que l'inverse.

### **5.3. Le séquenceur**

Cette partie ne reprend pas la mise en page générale du cahier des charges, de par l'importance du séquenceur dans la fusée. Chaque partie (règles, contrôles, explications et recommandations) couvre à elle seule une page ou plus... Les explications sont nombreuses afin de ne rebuter personne et de bien faire comprendre l'importance du séquenceur dans une fusée.

#### **REGLES**

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

**SEQ2** : Le séquenceur doit avoir une autonomie d'au moins 45 minutes.

**SEQ3** : Le séquenceur doit avoir la puissance nécessaire pour déclencher le mécanisme de séparation.

**SEQ4** : Signalisation : Trois informations doivent être données explicitement (position claire des interrupteurs, voyant, buzzer, ...) :

-séquenceur sous tension ou hors tension

-séquenceur actif (la fusée a décollé) ou inactif (la fusée attend le décollage)

-actionneur actif (séparation commandée) ou inactif (séparation non commandée)

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

$T1 \geq T - 2 \text{ sec.}$

$T2 \leq T + 2 \text{ sec.}$

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.

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

**SEQ7** : Le club doit réaliser les plans du séquenceur et de son câblage électrique (à la prise d'initialisation, à l'actionneur, aux alimentations, ...).

## CONTROLES

SEQ1 : Vérification sur les schémas de l'isolation électrique du séquenceur, et éventuellement vérification du câblage du séquenceur, qui doit être facilement identifiable.

SEQ2,3 : Toutes alimentations coupées (mise à part celle du séquenceur), mesure du courant consommé avec l'actionneur inactif  $i_1$ ; même chose avec actionneur actif  $i_2$ , ceci à l'aide d'un ampèremètre. Puis estimation de l'autonomie en fonction de la capacité des sources d'alimentation (piles ou batteries).

SEQ3,4 : Mini simulation de vol afin de vérifier :

- l'initialisateur,
- la signalisation,
- la comptabilité actionneur.

SEQ5 : Vérification du réglage de T1 et de T2 et de l'indépendance vis à vis de la commande externe d'ouverture parachute. L'entrée de forçage, celle qui vient de T2, doit être accessible pour simplifier les essais (cavalier).

SEQ6,7 : Fournir, dans le dossier de conception, un dossier complet sur le séquenceur, 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 de déclenchement du séquenceur aux valeurs des composants utilisés

## EXPLICATIONS

Le séquenceur est un élément de base de la fusée. Une attention toute particulière doit y être apportée.

Son but est de détecter le décollage de la fusée et de commander le mécanisme de récupération en temps voulu.

Dans toute conception d'un séquenceur, il faut surtout se focaliser sur deux principes fondamentaux :

- fiabilité
- indépendance vis à vis des autres systèmes

*Isolation électrique* : Le reste de l'électronique ne doit pas remettre en cause le bon fonctionnement du séquenceur.

*Autonomie* : Des interruptions de chronologie peuvent avoir lieu à n'importe quel moment (par exemple pour des raisons météorologiques), sans que l'on puisse couper systématiquement l'alimentation. Par exemple si en rampe on commande un servomoteur en position fermée la consommation n'est pas négligeable.

*Compatibilité avec l'actionneur* : Même lors de contraintes mécaniques (en cisaillement), ce séquenceur doit être capable de fournir l'énergie nécessaire à l'actionneur.

*Signalisation* : La méthode de signalisation doit être la plus simple et la plus compréhensible possible.

*Déclenchement non minuté* : Dans le cas où vous souhaitez commander le système de récupération par un autre paramètre que le temps (exemple : détection de l'altitude maximale), cet ordre doit impérativement passer par l'intermédiaire d'un séquenceur de sécurité à « fenêtre temporelle ». Si le système (de détection d'altitude dans notre exemple) envoie un ordre erroné, le séquenceur doit soit ignorer l'ordre trop précoce, soit donner l'ordre si la détection n'a pas fonctionné (ordre trop tardif). Pour cela, le séquenceur détermine une fenêtre délimitée par les temps T1 et T2 (figure 8) :

- entre  $t = 0$  et  $t = T1$  : période d'interdiction de commande
- pour  $t > T2$  le séquenceur donne autoritairement l'ordre (entrée de forçage)

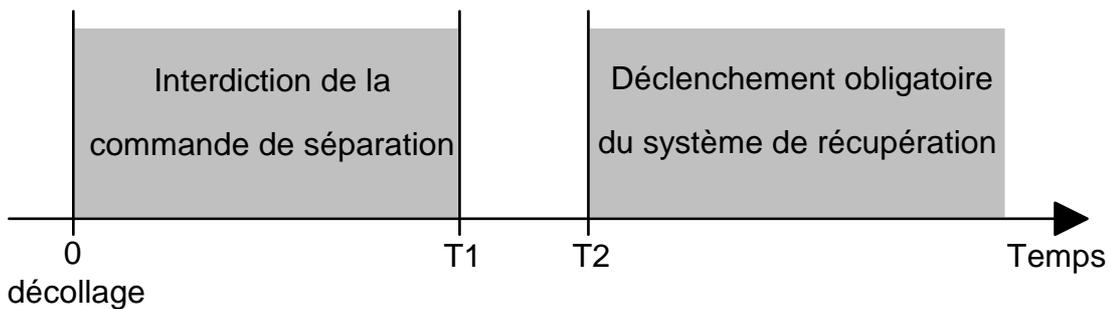


FIG. 8 - Fenêtrage temporel

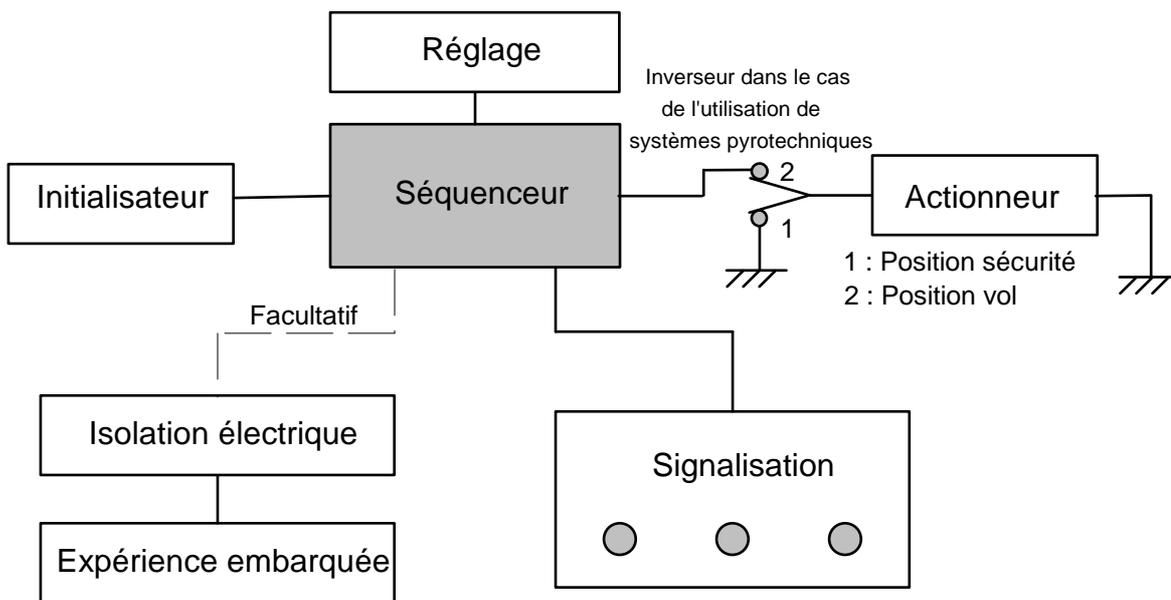


FIG. 9 - L'environnement du séquenceur

## RECOMMANDATIONS

*Isolation électrique* : En général, cela ne pose aucun problème, sauf si l'on veut avoir connaissance de l'état du séquenceur (phases de vol en particulier). Les liaisons électriques étant proscrites, l'utilisation d'optocoupleurs est vivement conseillée. En AUCUN cas une liaison électrique entre le séquenceur et le reste de la fusée (autre que la masse) ne sera acceptée. Ce qui veut dire qu'un microcontrôleur faisant office de séquenceur ne fera QUE ça.

*Autonomie* : Essayez autant que faire se peut de dépasser cette durée.

*Compatibilité actionneur* : vérifiez que votre alimentation supporte bien de nombreuses utilisations du système de séparation. De plus, vérifiez que l'alimentation est capable de fournir le courant nécessaire sans chute de tension d'alimentation.

*Plage de réglage* : Si cela est possible, le temps de déclenchement programmé doit être réglable (au minimum par pas d'une seconde) dans une plage de  $\pm 50\%$  du temps de déclenchement prévu.

*Points de test et cavaliers* : Dans tous les cas de liaison entre le séquenceur et le reste de la fusée, un cavalier et un point de test sur chacune des liaisons sont fortement recommandés. De plus, il faudrait un point de test connecté à la masse du séquenceur, cela simplifiera d'autant la qualification du séquenceur, et donc de la fusée.

*Signalisation* : les systèmes lumineux (diodes) ou sonores (bip bip) sont les plus couramment utilisés. Privilégiez les indicateurs sonores plutôt que visuels, qui sont plus difficiles à voir sur la rampe en plein soleil.

Cette page est laissée volontairement vide

## **5.4. L'efficacité du système de libération du ralentisseur**

### **5.4.1. Système de type 'séparation transversale'**

#### **REGLES**

**REC6** : La fusée doit être équipée d'un dispositif qui permet, lors de la séparation transversale, de dégager l'emboîtement des deux parties de la fusée, en soulevant le poids de la partie supérieure.

**REC7** : Utilisation de coquilles :

Si le parachute est contenu dans des coquilles, la fusée doit être équipée d'un dispositif qui permet, lors de la séparation transversale, de faire sortir les coquilles contenant le parachute d'au moins la moitié de leur longueur, en soulevant le poids de la partie supérieure de la fusée.

#### **CONTROLES**

**REC6** : La fusée étant posée verticalement, ogive vers le haut, on vérifie qu'à la séparation les deux parties de la fusée se déboîtent l'une de l'autre.

**REC7** : La fusée étant posée verticalement, ogive vers le haut, on vérifie qu'à la séparation les coquilles contenant le parachute sortent d'au moins la moitié de leur longueur.

### **EXPLICATION**

L'objectif est de s'assurer que le ralentisseur sera libéré après que le séquenceur en ait donné l'ordre.

### **RECOMMANDATION**

Si on souhaite libérer deux parachutes (afin que le haut et le bas de la fusée redescendent séparément), il est déconseillé de placer ces parachutes tête-bêche dans une même case parachute, car ils risqueraient de s'emmêler à l'ouverture.

## 5.4.2. Système de type 'porte latérale'

### REGLES

**REC8** : 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).

**REC9** : En position fermée, la porte latérale ne doit pas dépasser du profil de la fusée.

**REC10** : La porte ne doit pas s'ouvrir ou se bloquer lorsqu'on applique un couple de torsion de 1 N.m entre le haut et le bas de la fusée.

### CONTROLES

**REC8** : Une feuille de papier est calée dans l'ouverture de la case (dans le sens de la hauteur), le contrôleur applique une force équivalente à  $2 \times a_{\text{max}} \times M_{\text{sup}}$  à l'extrémité supérieure de la case parachute, le contrôle est positif si la feuille de papier n'est pas déformée.

**REC9** : On pose une règle sur la porte latérale en position fermée. Les deux extrémités de la règle doivent toucher la peau de la fusée.

**REC10** : Le bas de la fusée étant fixé, on applique un couple de 1 N.m en haut de la fusée dans un sens puis dans l'autre (par exemple en suspendant un poids de 1 kg à 10 cm de l'axe de la fusée grâce à une clef de filtre à huile à ruban).

## EXPLICATIONS

REC8 : En règle générale, les grands trous dans la peau de la fusée sont à éviter car ils fragilisent la structure lors de l'accélération de la fusée. Dans le cas d'une porte latérale, il faut donc s'assurer que le trou qui permettra l'éjection du parachute ne va pas se déformer en vol. Cette déformation peut empêcher la porte latérale de s'ouvrir. Dans le cas extrême, la fusée peut se casser en deux au niveau de la case.

REC9 : Un entrebâillement de la porte peut provoquer un arrachement de celle-ci lors du vol de la fusée.

REC10 : Lors de la mise en rampe, la fusée peut subir une certaine torsion. Il ne faut pas que cette torsion fasse s'ouvrir la porte lorsque la fusée est en rampe ou qu'elle bloque le système de récupération. Ce problème peut notamment se rencontrer avec les fusées à peau non porteuse, où la porte risque de se bloquer sous la peau.

## RECOMMANDATION

Placez la case parachute le plus haut possible, ainsi la contrainte appliquée sur la structure est moindre.

### 5.4.3. Autres types de système

REGLES
--------

- |   |
|---|
| <b>REC11</b> : L'éjection du ralentisseur doit être franche.  |
| <b>REC12</b> : L'accélération et les vibrations de la fusée ne doivent pas modifier le fonctionnement du système de récupération. |

CONTROLES
-----------

Contrôles spécifiques permettant de vérifier ces règles.

<b>EXPLICATION</b>
--------------------

On souhaite s'assurer que le ralentisseur sera activé.

## 5.5. Le ralentisseur

### REGLES

**REC13** : Le ralentisseur doit être suffisamment solide pour résister au choc à l'ouverture.

**REC14** : Dans le cas de l'utilisation d'un parachute, celui-ci doit être équipé d'un anneau anti-torche (également appelé glisseur). Voir figure 11.

### CONTROLES

Utilisation d'un parachute :

Force maximal à l'ouverture :

$$F=0.5*1.3*Surface*V_{apogee}^2 \text{ en Newton}$$

Où :

$V_{apogee}$  est la vitesse à l'apogée (en  $m.s^{-1}$ )

Surface est la surface dépliée du parachute (en  $m^2$ )

- *suspentes du parachute* : Chaque suspente doit supporter une force égale à  $\frac{2 \times 2 \times F}{\text{Nombre de suspentes}}$  (coefficient de sécurité de 2, et on considère que seulement la moitié des suspentes travaillent à l'ouverture parachute).
- *sangle, émerillon, fixation à la fusée* : ils doivent supporter une force de  $2 \times F$  (coefficient de sécurité de 2).

REC14 : Vérification de la présence d'un anneau anti-torche ou d'un émerillon.

Autres types de ralentisseur :

REC13 : Contrôle spécifique au type de ralentisseur employé.

## EXPLICATIONS

REC13 : Lors du calcul de la vitesse à l'ouverture parachute, on considère la période  $[T-10\%, T+10\%]$  et non l'instant  $T$ , pour tenir compte des imperfections du logiciel de trajectographie.

REC14 : Un anneau anti-torche est un anneau dans lequel passe chacune des suspentes, et qui leur évite de s'emmêler en les maintenant écartées. Cet anneau permet de tendre toutes les suspentes, ce qui rend plus efficace l'émerillon et évite ainsi la mise en torche du parachute. Il doit pouvoir glisser le long des suspentes, et ne doit pas être coupant.

## RECOMMANDATIONS

Utilisez des couleurs voyantes pour le parachute. Le blanc ou les couleurs de camouflages sont vivement déconseillées. Préférez des couleurs vives telles que le rouge, l'orange qui se voient bien dans le ciel et qui permettent facilement de retrouver votre fusée une fois celle-ci au sol.

Les chocs à l'ouverture sont très importants pour les parachutes (cf. note technique correspondante référence [R2]). En conséquence :

- le parachute, les suspentes, la sangle et le système d'accrochage doivent être solides,
- l'utilisation de sangles usagées est à éviter,
- l'emploi de tiges filetées pour la fixation des sangles est déconseillé.

D'autre part,

- pour la liaison entre le parachute et la fusée, PLANETE SCIENCES recommande l'emploi d'un émerillon de qualité,
- le parachute doit sortir aisément de sa case,

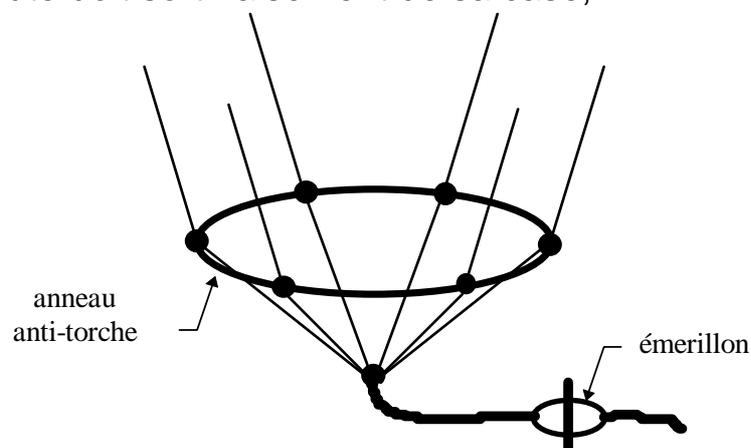


FIG. 11 - Anneau anti-torche

Cette page est laissée volontairement vide

## **6. 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 :

### 6.0.1. Dans le cas d'une localisation radio

REGLE
-------

<b>LOC1</b> : La bande de fréquence 136-138 MHz ne doit pas être utilisée.
--

<b>LOC2</b> : La fréquence et la puissance utilisées doivent respecter la réglementation internationale des télécommunications. Elles devront être indiquées dans le dossier de conception.
---

CONTROLE
----------

LOC1,2 : Le contrôleur teste le système en vérifiant que les règles énoncées précédemment sont respectées.

### 6.0.2. Dans le cas d'une localisation par fumigènes ou traceurs

REGLES
--------

<b>LOC3</b> : Les fumigènes et les traceurs doivent être de type froid.
---

<b>LOC4</b> : Ils ne doivent pas rejeter de corps toxiques ou incandescents. Si besoin est, ils doivent être équipés de crépines.
---

CONTROLES
-----------

LOC3 : La température des gaz à la sortie des événements ne doit pas permettre d'enflammer une feuille de papier.

LOC4 : Le dossier de conception doit comporter une notice du fabricant précisant ce point.

<b>EXPLICATION</b>
--------------------

LOC2 : PLANETE SCIENCES a besoin de connaître la fréquence et la puissance de tous les émetteurs pour vérifier la compatibilité avec le reste des opérations sur l'aire de lancement.

<b>RECOMMANDATION</b>
-----------------------

Les systèmes de localisation doivent avoir une autonomie suffisante, ou un fonctionnement différé pour permettre la récupération de l'engin en dehors des heures de lancements, la récupération des fusées pouvant avoir lieu 1 à 2 jours après le lancement.

Cette page est laissée volontairement vide

## **7. Qualité**

---

## REGLES

- QUAL1** : Le club doit établir assez tôt 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 de tous les sous-ensembles électriques et mécaniques.
- 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** : 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, ...).

## CONTROLES

QUAL1 : Vérification de la présence du planning et du document de répartition des tâches dans l'étude de faisabilité.

*Remarque* : Un exemple de planning est disponible à PLANETE SCIENCES.

QUAL2,3,4 : Vérification de la présence de ces plans dans le dossier de conception.

QUAL6 : Vérification de la bonne tenue mécanique des différents éléments (notamment le câblage et la connectique).

## RECOMMANDATIONS

Pensez à tous les phénomènes qui peuvent intervenir sur le bon fonctionnement de vos systèmes (exemple : un capteur de pression placé à l'horizontale est sensible à l'accélération, ce qui fausse la mesure).

N'oubliez pas de prendre en compte la décélération à la fin de la poussée du moteur et lors du déclenchement du système de récupération.

Lors de la réalisation de vos circuits imprimés :

- mettez un plan de masse du côté composants
- faites des pistes les plus larges possibles

Soudez vos composants le plus près possible des circuits imprimés. Préférez une implantation couchée des composants.

Ayez la documentation technique de tous les composants peu courants que vous utilisez : c'est très pratique pour les faire fonctionner correctement....

Il est important de définir très tôt la connectique pour prévoir son encombrement.

Le plan de câblage doit comporter, pour chaque câble :

- le nom du signal véhiculé
- la couleur du câble ou son numéro dans le cas d'un câble en nappe
- pour chaque extrémité, le numéro de la broche du connecteur

Soignez particulièrement le câblage et la connectique, éléments primordiaux et malgré tout assez fragiles en général. N'utilisez pas de câbles trop longs.

Essayez de blinder vos cartes électroniques et les câbles des signaux sensibles.

Pensez aussi à la rigidité de l'antenne, surtout si elle dépasse beaucoup.

L'émetteur est lourd, il faut compter avec l'accélération et ne pas le fixer à la légère.

Cette page est laissée volontairement vide.

## **8. Sécurité**

---

## **8.1. Points généraux de sécurité**

### **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 équipé d'un système permettant au P.C. de connaître leur état à chaque instant.

### **CONTROLES**

SECU1 : Dans le cas de l'utilisation d'un système modifiant le roulis, le club doit démontrer qu'il ne peut se déclencher en phase propulsée.

SECU2,3 : Vérification dans le dossier de conception et lors des contrôles que le club n'embarque pas à bord de la fusée des substances dangereuses ou des animaux.

SECU4 : Contrôle spécifique.

## EXPLICATION

SECU 1 : Toute défaillance d'un système modifiant ou pouvant modifier la trajectoire de la fusée peut entraîner un point de retombée en dehors de la zone autorisée sur la campagne de lancement, appelée gabarit. Une fusée ne doit en aucun cas sortir de son gabarit de lancement.

On appelle :

- lacet : toute déviation dans le plan horizontal autour du centre de gravité (« la fusée tourne à gauche ou à droite »).
- tangage : toute déviation dans le plan vertical autour du centre de gravité (« la fusée se penche en avant ou en arrière »).
- roulis : toute rotation autour de l'axe longitudinal (« la fusée tourne sur elle-même »).

SECU4 : Le P.C. (Poste de Contrôle) supervise les lancements. Il faut qu'il ait tous les éléments de sécurité en sa possession afin de juger de l'état effectif de la chronologie.

## RECOMMANDATION

Pour tout processus actif sur rampe, on conseille un système de visualisation lumineux (Le PC est à plus de 300 mètres des rampes de lancement).

## **8.2. Utilisation de systèmes pyrotechniques**

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

### **REGLES**

**SECU5** : Seuls les actionneurs pyrotechniques (cisailles, cordons, vérins, etc.) conçus et fabriqués par des professionnels, non modifiés et non périmés, peuvent être montés dans les fusées. La puissance d'un système pyrotechnique doit être strictement adaptée à la fonction à remplir.

**SECU6** : 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.

**SECU7** : 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.

**SECU8** : Pour les systèmes éjectants des éléments, une protection mécanique (chaîne, bandeau) doit empêcher leur sortie normale en cas de déclenchement pendant les manipulations.

### **CONTROLES**

**SECU5** : Le club doit fournir avec son dossier de conception la documentation technique concernant les actionneurs pyrotechniques qu'il utilise.

**SECU6,7,8** : Le contrôleur vérifie que le système pyrotechnique ne présente pas de danger pour le manipulateur (présence d'un court-circuit et d'une mise à la masse, d'un verrouillage ou d'une protection selon le système utilisé).

Le contrôleur teste le système (au minimum une fois lors du vol simulé). Le club doit donc prévoir des actionneurs pyrotechniques de rechange.

## EXPLICATION

L'emploi de systèmes pyrotechniques présente un danger pour le manipulateur, les règles décrites précédemment tendent à diminuer le risque d'accident.

## RECOMMANDATIONS

PLANETE SCIENCES recommande l'emploi de l'inflamateur type Davey Bickford dont les dimensions sont indiquées figure 12 et qu'elle met gratuitement à la disposition des clubs. Il permet de couvrir la majorité des cas rencontrés.

PLANETE SCIENCES recommande que les zones à risque soient clairement visibles sur les engins (peinture, marquage, etc.).

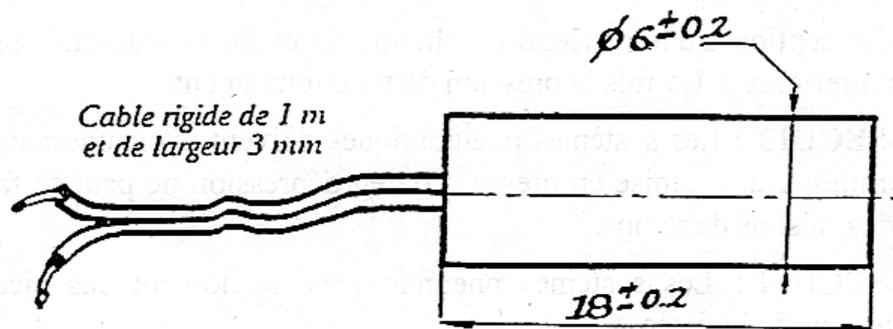
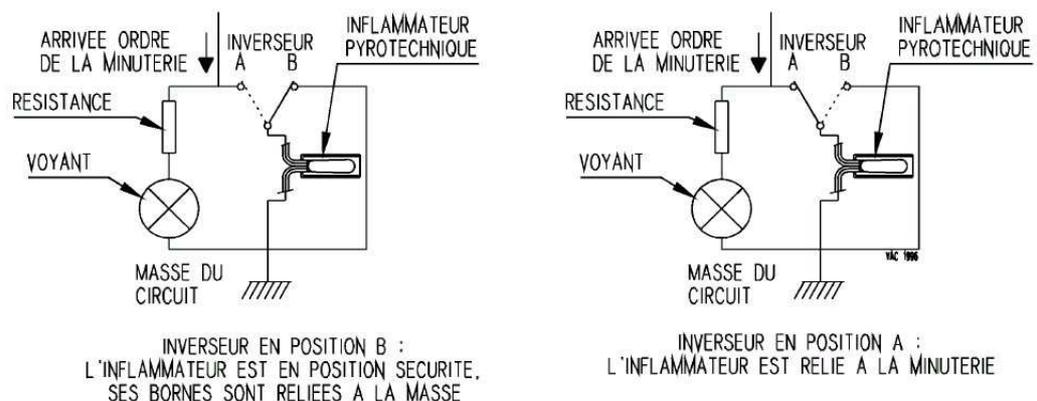


FIG. 12 - Inflamateur Davey Bickford

Schéma d'un interrupteur de sécurité pour un dispositif pyrotechnique. Le voyant s'allume lorsque l'ordre du séquenceur arrive.



**Attention : ces inflamateurs peuvent représenter un danger (brûlure, cavité sous pression). La présence d'un adulte est indispensable lors de leur mise sous tension. Conformez-vous bien aux recommandations faites par votre suiveur et respecter l'usage prévu lors de la demande faite à Planète Sciences !**

### **8.3. Utilisation de systèmes pneumatiques**

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

#### **REGLES**

**SECU9** : Les gaz comprimés utilisés comme source d'énergie ou comme vecteur d'énergie doivent être ininflammables.

**SECU10** : Les réservoirs de gaz comprimés doivent être équipés d'une purge permettant de les vidanger indépendamment du fonctionnement du système qu'ils alimentent.

**SECU11** :  $CS \geq 2$

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

**SECU12** : 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.

**SECU13** : 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.

**SECU14** : Les systèmes pneumatiques ne doivent pas éjecter de pièces à l'extérieur de la fusée.

#### **CONTROLES**

SECU11 : La valeur du coefficient de sécurité doit être fournie, soit par un certificat du fabricant, soit par un essai.

Le club doit fournir avec son dossier de conception la documentation technique concernant les systèmes pneumatiques qu'il utilise.

<b>EXPLICATION</b>
--------------------

L'emploi de systèmes pneumatiques présente un danger pour le manipulateur, les règles décrites précédemment tendent à diminuer le risque d'accident.

## **8.4. Sécurité électrique**

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

**SECU15** : La ligne de mise à feu du moteur est inaccessible à l'expérience.

**SECU16** : Les tensions ( $V_{max}$ - $V_{min}$ ) supérieures à 30 V sont interdites dans la fusée.

<b>CONTROLE</b>
-----------------

**SECU16** : Mesure des tensions d'alimentation et analyse du schéma si nécessaire. Une alimentation en +16V -16V n'est donc pas admise.

## EXPLICATIONS

SECU15 : Le pyrotechnicien souhaitant avoir la maîtrise totale de l'allumage du propulseur, aucune intervention sur la ligne de mise à feu n'est possible. Par exemple, pas de lancement commandé à partir d'un ordinateur.

Le Top feu correspond à la fermeture d'un contact entre 2 bornes lors de l'appui sur le bouton de mise à feu.

SECU16 : La limitation des tensions à bord de la fusée est nécessaire pour des raisons évidentes de sécurité.

## RECOMMANDATIONS

Des tensions de 30V suffisent largement aux expériences conventionnelles.

Dans le cas d'un besoin spécifique de tensions élevées, un soin tout particulier devra être apporté au câblage, à l'isolement et au strict respect des règles de sécurité.

Cette page est laissée volontairement vide.

## **9. Mise en œuvre**

---

## **9.1. Stabilité**

Tous nos calculs ( $C_n$ ,  $M_s$  et  $C_m$ ) sont basés sur le diamètre de référence qui est celui de l'ogive.

Les critères doivent être suffisamment simples à évaluer pour que les clubs puissent les tester eux même. Cela implique certaines simplifications et donc des marges de sécurité élevées.

De plus des raisons historiques, comme accidents de tir, ont fait évoluer ces règles qui peuvent sembler parfois exagérées.

**DEROGATIONS** : si le club pense pouvoir prouver que des critères moins restrictifs doivent être appliqués à son projet, il doit faire une demande de dérogation au cahier des charges. Cette dérogation ne sera donnée au club que s'il convainc PLANETE SCIENCES et les contrôleurs du bien fondé de sa demande.

### **REGLES**

**STAB1** : Vitesse en sortie de rampe  $> 20$  m/s

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

**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.

### **CONTROLE**

La stabilité sera vérifiée à l'aide du logiciel de trajectographie de PLANETE SCIENCES. Seuls ses résultats feront foi.

Si le projet n'est pas modélisable par ce logiciel, le club devra présenter un calcul de stabilité dans le dossier de conception.

## EXPLICATIONS

Les explications concernant la stabilité se trouvent dans la note technique référence [R1], celles concernant les propulseurs se trouvent dans le cahier des propulseurs référence [R6].

STAB1 : L'action stabilisatrice des empennages n'est garantie qu'à partir d'une certaine vitesse.

STAB2 : Dans le cadre des fusées expérimentales mono étage, la finesse est le rapport entre la longueur totale sans antenne et le plus grand diamètre de la fusée.

STAB5 : Un produit supérieur à 100 indique que la fusée est très sensible au vent (limite surstable). On ne peut donc la lancer que dans des conditions particulières de vent. Ce qui veut dire que le projet peut ne pas être lancé s'il y a trop de vent durant la campagne !

## RECOMMANDATIONS

Le logiciel de trajectographie « TRAJEC » est disponible auprès de PLANETE SCIENCES.

Il est fortement conseillé de faire en sorte que les valeurs des différents coefficients se trouvent au centre de la fourchette donnée et non aux bords. PLANETE SCIENCES préconise une valeur de 70 pour le produit  $MS \times C_n$ .

## **9.2. Compatibilité rampe**

### **REGLES**

**CR1** : La fusée doit être compatible avec au moins une des 4 rampes dont les caractéristiques figurent ci-dessous :

Rampes	longueur maxi (mm)	Ø mini (mm)	Ø maxi (mm)	envergure maxi (mm)	largeur patin (mm)	masse maxi de la fusée (kg)
IDEFIX	2000	40	60	260	20	5
ASTERIX	4000	40	130	370	20	25
OBELIX	4000	40	160	370	20	25
MENHIR	4000	90	200	720	20	80

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** : Toutes les fusées doivent avoir 4 ailerons identiques.

**CR3** : Les zones devant être accessibles (interrupteurs, voyants, prise d'initialisation, ...) doivent se trouver à  $\pm 20^\circ$  dans l'alignement des ailerons.

**CR4** : D'éventuels éléments éjectés doivent se trouver dans une zone accessible autre que celle de signalisation ou de mise en oeuvre.

**CR5** : La fusée doit être prévue pour être introduite horizontalement dans la rampe.

**CR6** : Angle des cordons arrachables : 5 à 30°.

**CR7** : Les interrupteurs de mise en oeuvre doivent être accessibles de l'extérieur de la fusée, sans démontage.

**CR8** : En rampe, le diamètre extérieur de la fusée devra être le même tout au long de la fusée entre le bas du cône et le bas du moteur.

Donc si la fusée a une jupe ou un rétreint, le club devra prévoir des coquilles pour supprimer la différence de diamètre extérieur lors du glissement dans la rampe.

### **CONTROLES**

Mesures et pesées correspondantes

## EXPLICATIONS

CR1 : Les clubs aérospatiaux disposent de quatre rampes pour lancer les fusées qu'ils réalisent. Leurs dimensions sont adaptées aux types de moteurs utilisés. Elles sont constituées d'un pylône métallique équipé de glissières permettant de guider la fusée sur les premiers mètres de sa trajectoire. Ce pylône est monté sur un affût qui permet de l'orienter en site et en gisement.

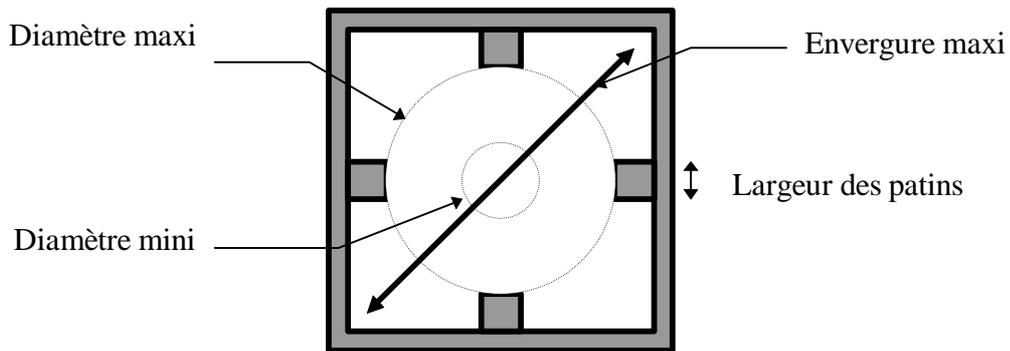


FIG. 13 - Gabarit des rampes

CR2 : L'aérodynamique des fusées impose la présence d'au moins trois ailerons, mais les rampes PLANETE SCIENCES, par la disposition des rails de guidage, n'acceptent que les fusées à 4 ailerons.

CR3 : Voir figure 14 ci-dessous.

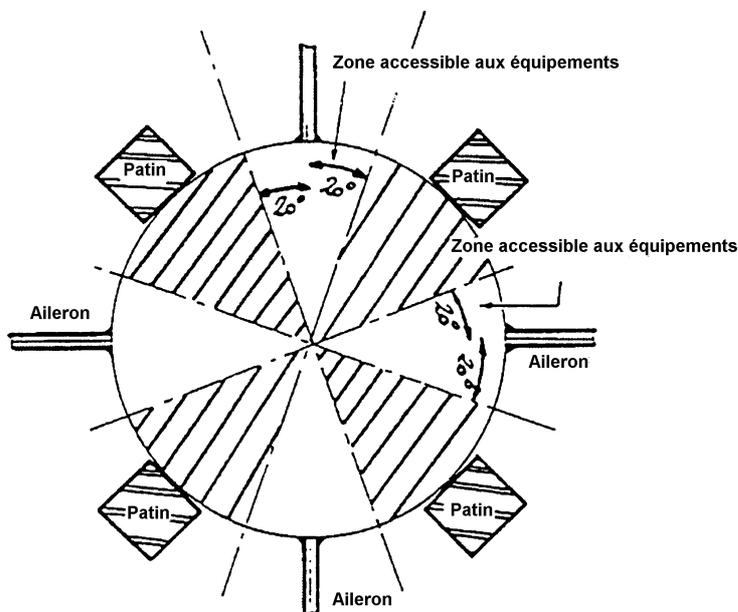


FIG. 14 - angles d'utilisation d'un initialiseur

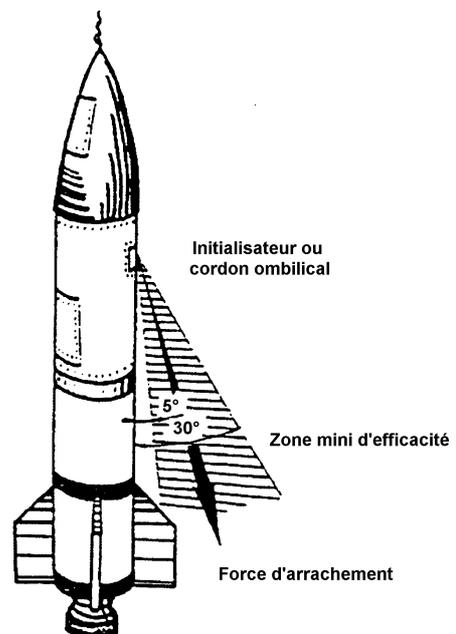


FIG. 15 - angle d'arrachement

CR4 : On peut citer comme exemple d'éléments éjectables les goupilles sortantes des systèmes de récupération.

CR6 : Les initialisateurs et les cordons ombilicaux qui se détachent lors du départ de la fusée, doivent pouvoir s'arracher sous un angle allant de cinq à trente degrés par rapport à l'axe de la fusée (voir figure 15). Ceci est imposé par la méthode employée actuellement pour accrocher les cordons ombilicaux et les initialisateurs à la rampe.

CR7 : La mise en œuvre de la fusée ne doit pas demander trop de manipulations.

CR8 : Pour que le guidage de la rampe soit efficace, il faut que le diamètre extérieur de la fusée soit le même sur toute la longueur de la fusée, d'où l'intérêt des coquilles.

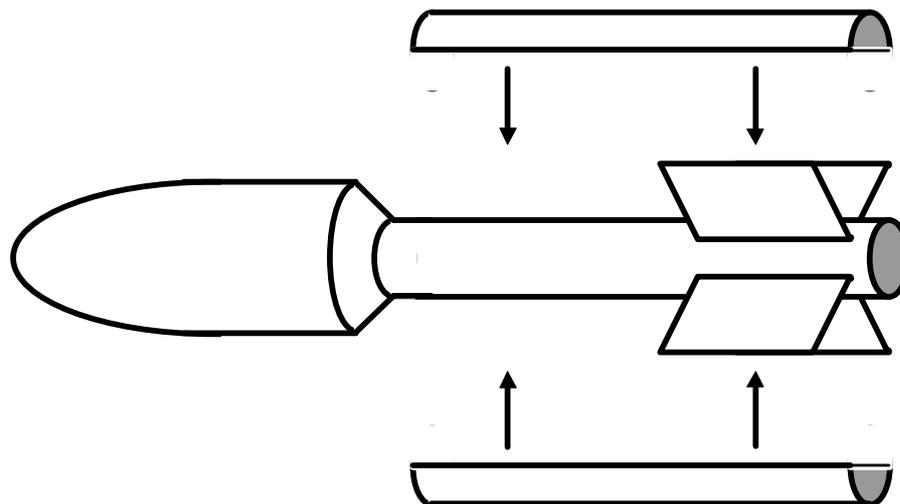


FIG. 16 - Principe des coquilles

Cette page est laissée volontairement vide.

## 9.2.1. Compatibilité propulseur

### REGLES

**CP1** : Le propulseur doit entrainer la fusée en reprenant la poussée soit par le haut, soit par le bas.

**CP2** : Les propulseurs doivent être centrés sur le diamètre.

**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.

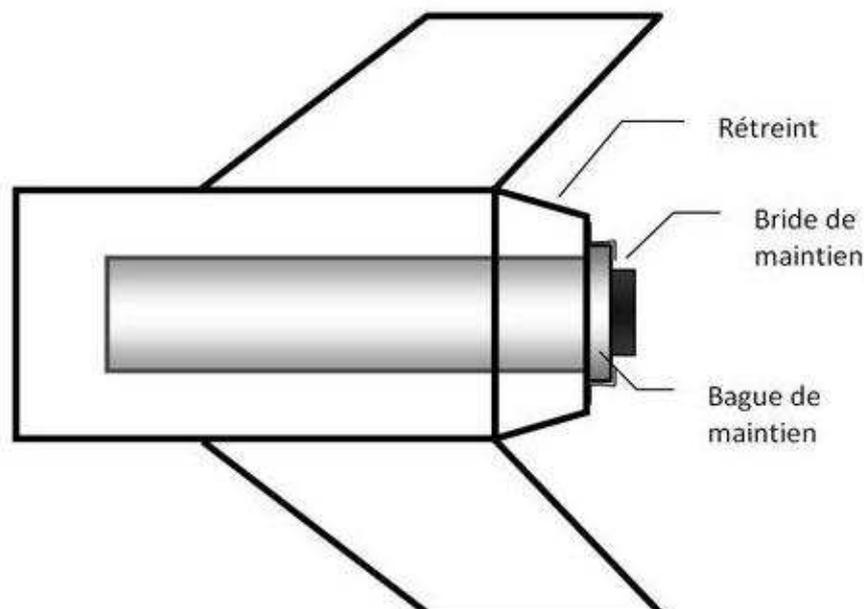
**CP4** : Les propulseurs doivent être maintenus avec au moins 2 brides de retenue (type Z) fixées à l'aide d'une vis de 4mm à 6 pans creux (dite aussi « Allen » ou « BTR »)

### CONTROLES

CP1 : La reprise de la poussée sera vérifiée avec une enveloppe de propulseur vide, qui ne sera pas nécessairement celle utilisée lors du vol.

CP2 : Le centrage du propulseur sera vérifié avec une enveloppe de propulseur vide, qui ne sera pas nécessairement celle utilisée lors du vol. Veiller à bien respecter le jeu de 0.5 à 1 mm entre les différentes bagues de centrage et le propulseur.

CP3 : Pour les fusées équipées d'un rétreint à l'arrière de la fusée, on vérifiera qu'il laisse le dégagement nécessaire aux opérations pyrotechniques.



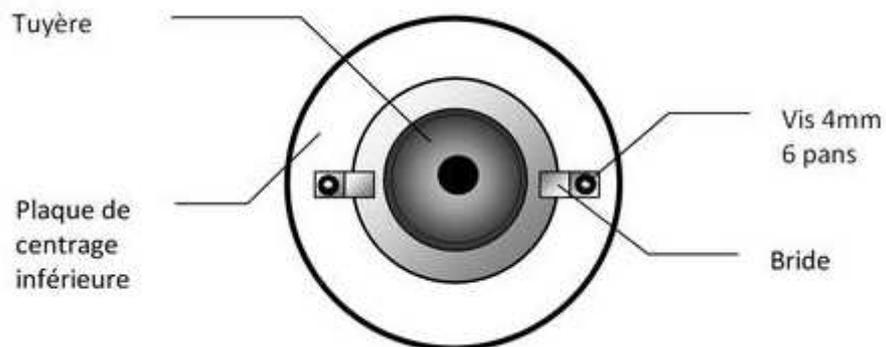
## EXPLICATIONS

CP1, 2 : Pour plus de renseignements, reportez-vous au cahier des propulseurs référence [R6].

CP3 : Le pyrotechnicien a besoin d'une certaine zone à l'arrière du propulseur pour mettre en place correctement la canne d'allumage.

CP4 : L'utilisation de 2 brides de retenue permet d'assurer une redondance en cas de problème avec l'une des brides.

Le choix des vis standard 6 pans a été fait dans le but d'améliorer la sécurité de la mise en œuvre des propulseur. Ces vis permettent d'assurer un serrage optimal.



### **9.3. Chronologie**

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

<b>CHRONO1</b> : Le club doit établir assez tôt une « check-list » très détaillée, présentée chronologiquement, de la mise en oeuvre de la fusée.
---

<b>CONTROLE</b>
-----------------

Vérification de l'existence de cette chronologie dans le dossier de conception.

## EXPLICATIONS

Ce document permettra au plan d'opération d'évaluer le temps et les moyens nécessaires à la mise en œuvre dans de bonnes conditions de la fusée et de planifier ainsi l'ensemble des lancements.

Il permet également au club de ne rien oublier même sous la tension généralement présente juste avant le lancement (stress, stress...).

Cette chronologie pourra être vérifiée et complétée à la campagne avec l'aide d'un animateur de PLANETE SCIENCES.

## RECOMMANDATIONS

Pensez à la chronologie dès l'étude de faisabilité. Même si vous ne la rédigez pas à ce moment là, il est important de penser très tôt à la mise en œuvre de la fusée ; on peut ainsi se rendre compte suffisamment tôt de détails cruciaux.

Un document d'aide à la rédaction de chronologie est disponible auprès de PLANETE SCIENCES.

Basiquement le document de chronologie a plusieurs buts. Il doit donner au plan d'opération une idée du temps nécessaire à la mise en œuvre de la fusée et des opérations spéciales si il y en a (mise en place de caméra, ...). Il permet aussi au club de diminuer le risque d'erreur dû au stress juste avant le lancement (et il est déjà suffisamment grand !). Enfin en cas de problème il permet de répartir les rôles et de savoir qui fait quoi.

Pour cela il doit avoir les informations suivantes :

- une colonne H-xxx qui représente le temps avant le lancement. Ce temps n'a pas à être précis à la minute près mais il doit être réaliste (il ne faut pas 5 min pour basculer un interrupteur !). Faites attention à tenir compte du temps des trajets effectués sur l'aire de lancement (il faut souvent plus d'une minute pour aller de la tente club à la zone rampe).
- une colonne « Action » qui décrit l'opération à effectuer. Si il s'agit de basculer des interrupteurs il est conseillé de faire un croquis d'implantation des interrupteurs et des voyants !
- une colonne « responsable » qui indique la personne qui effectue cette tâche. En cas de problème c'est elle qui décide de ce qu'il faut faire et des actions à mener.
- Indiquer également la zone où vous êtes (tente club, zone rampe ou rampe).

Une chronologie débute généralement lors de l'arrivée en tente club.

Cette page est laissée volontairement vide

## **10. L'exploitation des résultats**

---

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

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

<b>CONTROLE</b>
-----------------

Vérification de l'existence d'un compte-rendu d'expérience avant le commencement d'un nouveau projet.

## **EXPLICATION**

L'expérience est l'objectif principal de votre projet. Elle ne sera vraiment terminée que lorsque vous aurez exploité les résultats obtenus. C'est pour cela que pour commencer un nouveau projet I faut **IMPERATIVEMENT** envoyer un compte rendu d'expérience à PLANETE SCIENCES.

Si l'expérience est un échec il faut essayer d'en trouver les raisons et les mettre dans le compte rendu. Cela fait partie de l'expérience !

Ceci est la dernière page ; si vous n'avez pas tout compris, relisez les 92 pages précédentes, c'est forcément dedans !!!

## LISTE DES REGLES :

CHRONO 1 :	P 87	OBJ 1 :	P 15	SEQ 1 :	P 45
CP 1 :	P 85	OBJ 2 :	P 15	SEQ 2 :	P 45
CP 2 :	P 85	OBJ 3 :	P 15	SEQ 3 :	P 45
CP 3 :	P 85	QUAL 1 :	P 65	SEQ 4 :	P 45
CP 4 :	P 85	QUAL 2 :	P 65	SEQ 5 :	P 45
CR 1 :	P 81	QUAL 3 :	P 65	SEQ 6 :	P 45
CR 2 :	P 81	QUAL 4 :	P 65	SEQ 7 :	P 45
CR 3 :	P 81	QUAL 5 :	P 65	SNR 1 :	P 23
CR 4 :	P 81	QUAL 6 :	P 65	SNR 2 :	P 23
CR 5 :	P 81	REA 1 :	P 19	SNR 3 :	P 23
CR 6 :	P 81	REA 2 :	P 19	SNR 4 :	P 23
CR 7 :	P 81	REA 3 :	P 19	STAB 1 :	P 79
CR 8 :	P 81	REC 1 :	P 41	STAB 2 :	P 79
DEF 1 :	P 19	REC 2 :	P 41	STAB 3 :	P 79
DEF 2 :	P 19	REC 3 :	P 41	STAB 4 :	P 79
EXP 1 :	P 91	REC 4 :	P 41	STAB 5 :	P 79
INI 1 :	P 43	REC 5 :	P 41	STOC1 :	P 29
INI 2 :	P 43	REC 6 :	P 51	STOC2 :	P 29
IRIG 1 :	P 21	REC 7 :	P 51	STOC3 :	P 29
IRIG 2 :	P 21	REC 8 :	P 53	STOC4 :	P 29
IRIG 3 :	P 21	REC 9 :	P 53	STOC5 :	P 29
LOC 1 :	P 61	REC 10 :	P 53	TEL 1 :	P 25
LOC 2 :	P 61	REC 11 :	P 55	TEL 2 :	P 25
LOC 3 :	P 61	REC 12 :	P 55	TEL 3 :	P 25
LOC 4 :	P 61	REC 13 :	P 57	TEL 4 :	P 25
MEC 1 :	P 34	REC 14 :	P 57	TEL 5 :	P 27
MEC 2 :	P 34	SECU 1 :	P 69	TEL 6 :	P 27
MEC 3 :	P 34	SECU 2 :	P 69	TEL 7 :	P 27
MEC 4 :	P 34	SECU 3 :	P 69	TEL 8 :	P 27
MEC 5 :	P 34	SECU 4 :	P 69		
MEC 6 :	P 34	SECU 5 :	P 71		
MEC 7 :	P 34	SECU 6 :	P 71		
MEC 8 :	P 34	SECU 7 :	P 71		
MEC 9 :	P 34	SECU 8 :	P 71		
MES 1 :	P 19	SECU 9 :	P 73		
MES 2 :	P 19, 21, 23, 25, 29	SECU 10 :	P 73		
METH 1 :	P 15	SECU 11 :	P 73		
METH 2 :	P 15	SECU 12 :	P 73		
METH 3 :	P 15	SECU 13 :	P 73		
METH 4 :	P 15	SECU 14 :	P 73		
		SECU 15 :	P 75		
		SECU 16 :	P 75		