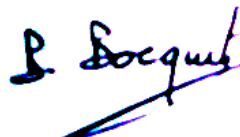

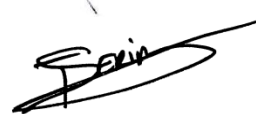







Service Culture Spatiale du CNES
18, avenue Edouard Belin - 31401 TOULOUSE CEDEX 9
Tél. : () 5 61 27 31 31
Site Internet : www.cnes-edu.org



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 :	CAHIER DES CHARGES FUSEES EXPERIMENTALES MONO ETAGE	
	<i>Noms et sigles</i>	<i>Date et Signatures</i>
Rédigé par :	<ul style="list-style-type: none"> - Nicolas PRALY (Planète Sciences) - Bertrand BOCQUET (CNES/DLA/SDT/SPC && DCO//EJ) - Pierre SERIN (CNES/DLA/SDT/SPC) 	<p>9 novembre 2017</p> 
Approuvé par :	<ul style="list-style-type: none"> - Planète Sciences (Responsable national activités espace) - Pierre Serin (CNES/DLA/SDT/SPC) - Thierry Stillace (CNES/DLA/SDT/SEL) - Stéphane Fredon (CNES/DCO//EJ) 	   
Autorisé pour application par :	- Marie-Claude Salomé (CNES/DCO/D)	

CAHIER DES CHARGES pour FUSEES EXPERIMENTALES MONO ETAGES

Cahier Planète Sciences/CNES

Références	FUSEX/CDC/1/CNES-PLASCI/V3.1
Version	3.1
Etat	Pour diffusion
Date d'édition	09 novembre 2017
Nb pages	129

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 / Nicolas PRALY / Bertrand BOCQUET / Pierre SERIN	
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 : 9 novembre 2017
Gestion en configuration (figé ou amené à évoluer) : Oui	
Logiciel(s) hôte(s) : MS Word 2010 ®	Nombre de pages : 129
Emplacement :	

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

Documents de références

- [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
- [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
- [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
- [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^{er} 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^{er} juillet 2015, établi par le responsable sauvegarde du CNES.

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. Modifications apportées : IRIG 2 : P20 Excursion en fréquence à $\pm 20\%$ et correction de la formule IRIG 3 : P20 Tableau des fréquences SNR 4 : P23 Explication du théorème de Shannon TEL 5 : P26 Valeur d'utilisation pour le Kiwi STOC 4 : P28 résistance à l'humidité en plus de l'autonomie Divers : P30 Explication des dérogations aux critères MEC 2 : P31 Explication du test de flèche (attache à la plaque de poussée) MEC 5 : P32 1.2 à la place de 0.052 dans le calcul de F MEC 8 : P32 possibilité de dérogation MEC 9 : P32 critère de tenue des masses. REC 2 : P36 Formule pour la descente sous parachute SEQ 1 : P40 Insiste sur l'indépendance électrique du séquenceur SEQ 5 : P41 Explication de l'entrée de forçage SECU 6 : P53 et P71 Schéma d'un interrupteur de sécurité pour un système pyrotechnique REC 13 : P56 Formule pour la force à l'ouverture REC 14 : P56 Anneau anti-torche ou émerillon Divers P78 Explication des dérogations aux critères STAB 3 : P78 $15 < C_n < 40$ STAB 4 : P78 $2 < M_s < 6$ STAB 5 : P78 $40 < C_m (< 100)$ + explication et conséquence de la valeur max conseillée CP 3 : P85 Mention au Caribou effacée dans l'explication CP 5 : P84 Règle supprimée EXP 1 : P90 EXPL 1 devient EXP 1 + explication du Compte Rendu Liste des règles en page 94		
2.1	15/10/2005	Modification des règles : MEC 2 : P32 torsion en flèche dynamique de 600 grammes pour une fusée Isard et 800 grammes pour une fusée chamois MEC 5 : P32 coefficient de 0.104 pour le calcul de la masse à appliquer aux ailerons		
2.2	27/05/2011	Nouvelle révision réalisée avec le support du groupe technique CNES de suivi des projets spéciaux. Modification des règles : IRIG3 : P21, 22 modification afin d'ajouter les bandes passantes max. TEL6 : P27 modification afin de différencier le KIWI des autres émetteurs. MEC2 : P34 modification afin d'ajouter la flèche dynamique dans la règle. Suppression de la référence à l'ISARD. MEC3 : P34, 35 ajout du contrôle sur la résistance de la reprise de poussée. MEC5 : P34 Le coefficient passe de 0.104 à 0.1. MEC9 : P34 reformulation pour plus de clarté. SEQ5 : P45 reformulation pour plus de clarté. 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. CP1 : P85 modification de la règle et ajout de la description du contrôle associé. CP2 : P85 modification de la règle et ajout de la description du contrôle associé. CP3 : P85 modification afin d'interdire les rétreints couvrant la bague inférieur du propulseur. Ajout d'un schéma. CP4 : P85, 86 ajout de la règle concernant les brides de retenue et l'explication associée.		

Version	Date	Modifications ... par ...	Approbation	Observations
2.3	21/03/2015	Modification des règles : MES2 : p20, 22, 24, 26, 30 modification des temps TEL 9 : p28 modification des temps MEC 6 : p35 précision de la règle MEC10 : p35 ajout MEC11 : p35, 89 ajout STAB 1 à 5 : p41 déplacement dans le document REC2 : p 44 ajout d'un paragraphe pour plus de clarté SEQ 5 : p48 modification de la règle. La fenêtre d'ouverture du parachute devient proportionnelle au temps de l'apogée. SECU15 : p75 ajout SECU16 : p77 renumérotation (anciennement SECU15) SECU17 : p77 renumérotation (anciennement SECU16) SECU18 : p79 ajout de la règle pour les caméras et les appareils photos CR2 : p82modification du nombre d'aileron CR9 : p82ajout de la règle pour la nouvelle rampe CP4 : p88modification de la règle sur la bride		

Version	Date	Modifications ... par ...	Approbation	Observations
3.0		<p>Modification des règles :</p> <p>REA1 : suppression, redondance de QUAL2 REA2 : suppression, redondance de QUAL4 REA3 : suppression, redondance de QUAL3 TEL5 : compléments par rapport aux types d'émetteurs TEL6 : compléments par rapport aux puissances d'émissions TEL7 : ajout, éclaircissement par rapport aux bandes de fréquences TEL8 : renumérotation (anciennement TEL7) TEL9 : renumérotation (anciennement TEL8) TEL10 : renumérotation (anciennement TEL9) MEC1 : suppression, redondance de QUAL2 MEC1&2 : renumérotation, anciennement MEC2&3 MEC3 : renumérotation, anciennement MEC4, et modification de la règle pour prendre en compte les contraintes propres aux vols transsoniques/supersoniques MEC4 à 7 : renumérotation, anciennement MEC5 à 8 MEC8 : déplacée en SUP9 MEC9 : suppression, redondance de REC2 MEC8 : ajout pour prendre en compte les bi-empennages MEC9 : ajout, anciennement QUAL6 STAB2 : vocabulaire STAB6 : ajout pour prendre en compte les bi-empennages STAB7 : ajout pour clarifier les conditions de validité du modèle de stabilité REC2 : modification de la règle pour plus de clarté et éviter les projets avec des temps de retombée trop longs REC3 : suppression, redondance de REC2 REC3 : renumérotation, anciennement REC4 REC4 : reformulation pour couvrir REC5 REC5 : suppression, redondance de REC4 REC6 : suppression, redondance de QUAL3 REC5 à 8 : renumérotation, anciennement REC6 à 10 ; reformulation de REC5 pour plus de clarté REC9 : formalisation d'une pratique de suivi des projets</p> <p>REC11 : suppression, redondance de REC1 REC11 : renumérotation, anciennement REC12 REC12 à 15 : ajout, formalisation des ralentisseurs pilotés INI2 : suppression, redondance de SECU16 LOC3 : suppression, redondance de LOC4 ; renumérotation, anciennement LOC4 QUAL1 : précision de l'échéance pour le planning QUAL2 : reformulation pour couvrir MEC1 QUAL6 : ajout, formalisation d'un usage SECU4 : précision de la règle SECU5 : ajout, formalisation d'un usage SECU6 à 19 : renumérotation, anciennement SECU5 à 18 SECU7 : précision de la règle SECU17 : reformulation pour couvrir INI2 CR1 : précision de la règle pour le nombre d'ailerons CR2 : suppression, redondance de CR1 et STAB7 CR2 à 8 : renumérotation, anciennement CR3 à 9 CR2&7 : précisions pour application aux rampes rail, précision pour l'utilisation de coquilles. CR8 : modification de la règle pour prendre en compte les fusées à 3 ailerons. CP2 : reformulation pour plus de clarté CP5 : ajout (anciennement MEC11) CHRONO2 : formalisation de l'usage ROL1 à 3 : ajout, formalisation du contrôle en roulis SUP1 à 5 : ajout, formalisation des vols supersoniques SUP6 : ajout (anciennement MEC8) RET1 : ajout, prise en compte des fusées réutilisées RET2 : ajout, formalisation de l'usage</p>		

Table des matières

REFERENCES.....	2
ANALYSE DOCUMENTAIRE.....	2
DIFFUSION	2
DOCUMENTS DE REFERENCES	3
MODIFICATIONS / HISTORIQUE DU DOCUMENT	4
AVERTISSEMENT	10
1. INTRODUCTION.....	12
1.1. BUT DE CE DOCUMENT.....	13
1.2. ORGANISATION DU DOCUMENT	13
2. DEFINITION DE LA FUSEE ET DE SON ENVIRONNEMENT	15
2.1. DEFINITION D'UNE FUSEE EXPERIMENTALE	16
2.2. METHODE	16
3. L'EXPERIENCE	18
3.1. PHYSIQUE DE L'EXPERIENCE	19
3.2. LA CHAINE DE MESURE	23
3.2.1. <i>Caractéristiques générales</i>	23
3.2.2. <i>Fusées avec télémessure</i>	25
3.2.3. <i>Fusées sans télémessure</i>	37
4. LA STRUCTURE MECANIQUE	39
4.1. CONTRAINTES MECANQUES.....	40
4.2. STABILITE	47
5. LE SYSTEME DE RECUPERATION	50
5.1. LE SYSTEME DANS SON ENSEMBLE	51
5.2. L'INITIALISATION.....	53
5.3. LE SEQUENCEUR	55
5.4. L'EFFICACITE DU SYSTEME DE LIBERATION DU RALENTISSEUR.....	61
5.4.1. <i>Système de type 'séparation transversale'</i>	61
5.4.2. <i>Système de type 'porte latérale'</i>	63
5.4.3. <i>Autres types de système</i>	65
5.5. LE RALENTISSEUR	67
5.6. RALENTISSEUR PILOTE	69
6. LE SYSTEME DE LOCALISATION.....	74
6.0.1. <i>Dans le cas d'une localisation radio</i>	75
6.0.2. <i>Dans le cas d'une localisation par fumigènes ou traceurs</i>	76
7. QUALITE.....	78
8. SECURITE	82
8.1. POINTS GENERAUX DE SECURITE.....	83
8.2. UTILISATION DE SYSTEMES PYROTECHNIQUES	85
8.3. UTILISATION DE SYSTEMES PNEUMATIQUES	88
8.4. SECURITE ELECTRIQUE.....	90
8.5. SECURITE DE L'INFORMATION	92
9. MISE EN ŒUVRE	93
9.1. COMPATIBILITE RAMPE	94
9.2. COMPATIBILITE PROPULSEUR	100
9.3. CHRONOLOGIE	102
10. CONTROLE DE ROULIS.....	108
10.1. DEMARCHE	109
11. VOL SUPERSONIQUE OU TRANSSONIQUE	114
11.1. DEMARCHE	115

12. REUTILISATION.....	122
12.1. DEMARCHE	123
13. L'EXPLOITATION DES RESULTATS	127

LISTE DES REGLES :

CHRONO 1 : P 99

CHRONO 2 : P 99

CP 1 : P 97

CP 2 : P 97

CP 3 : P 97

CP 4 : P 97

CP 5 : P 97

CR 1 : P 91

CR 2 : P 91

CR 3 : P 91

CR 4 : P 91

CR 5 : P 91

CR 6 : P 91

CR 7 : P 91

CR 8 : P 91

DEF 1 : P 23

DEF 2 : P 23

EXP 1 : P 125

INI 1 : P 51

IRIG 1 : P 25

IRIG 2 : P 25

IRIG 3 : P 25

IRIG 4 : P 25

LOC 1 : P 73

LOC 2 : P 73

LOC 3 : P 74

MEC 1 : P 39

MEC 2 : P 39

MEC 3 : P 39, 113

MEC 4 : P 39

MEC 5 : P 39

MEC 6 : P 39

MEC 7 : P 39

MEC 8 : P 39, 107

MEC 9 : P 39

MES 1 : P 23

MES 2 : P 23, 25, 27, 29, 35

METH 1 : P 19

METH 2 : P 19

METH 3 : P 19

METH 4 : P 19, 113

QUAL1 : P 77

QUAL2 : P 77

QUAL3 : P 77

QUAL4 : P 77

QUAL5 : P 77

QUAL6 : P 77

REC1: P 49, 63

REC2: P 49, 63

REC3: P 49, 63

REC4 : P 59

REC5 : P 61

REC6 : P 61

REC7 : P 61

REC8 : P 63

REC9 : P 63

REC10 : P 65

REC11 : P 65

REC12 : P 67

REC13 : P 67

REC14 : P 67

REC15 : P 67

RET1 : P 121

RET2 : P 121

ROL1 : P 107

ROL2 : P 107

ROL3 : P 107

SECU1 : P 81, 107

SECU2 : P 81

SECU3 : P 81

SECU4 : P 81

SECU5 : P 81

SECU6 : P 81

SECU7 : P 83

SECU8 : P 83

SECU9 : P 83

SECU10 : P 83

SECU11 : P 85

SECU12 : P 85

SECU13 : P 85

SECU14 : P 85

SECU15 : P 85

SECU16 : P 85

SECU17 : P 51, 85

SECU18 : P 87

SEQ1 : P 53

SEQ2 : P 53

SEQ3 : P 53

SEQ4 : P 53

SEQ5 : P 53

SEQ6 : P 53

SEQ7 : P 53

SNR1: P 27

SNR2: P 27

SNR3: P 27

SNR4: P 27

STAB1: P 45

STAB2: P 45

STAB3: P 45

STAB4: P 45

STAB5: P 45

STAB6: P 45, 107

STAB7: P 45

STOC1: P 35

STOC2: P 35

STOC3: P 35

STOC4: P 35

STOC5: P 35

SUP1 : P 113

SUP2 : P 113

SUP3 : P 113

SUP4 : P 113

SUP5 : P 113

TEL1: P 29

TEL2: P 29

TEL3: P 29

TEL4: P 29

TEL5: P 31

TEL6: P 31

TEL7: P 31

TEL8: P 32

TEL9: P 32

TEL10: P 32

OBJ1: P 19
OBJ2: P 19
OBJ3: P 19

SECU19 : P 87
SECU20 : P 89

Table des figures

Figure 1: Présentation des chapitres	13
Figure 2: Implantation des picots de test et cavaliers pour une télémessure analogique IRIG	27
Figure 3: Implantation des picots de test et cavaliers pour une télémessure numérique SNR.....	29
Figure 4: Contrôle de la flèche	42
Figure 5: Résistance longitudinale des ailerons	43
Figure 6: Résistance transversale des ailerons.....	43
Figure 7: Alignement des ailerons.....	44
Figure 8: Perpendicularité des ailerons.....	44
Figure 9 : calcul d'ailerons de forme quelconque	49
Figure 10: Fenêtrage temporel	58
Figure 11: L'environnement du séquenceur	58
Figure 12 : Carénage de porte entrebâillée	64
Figure 13: Anneau anti-torche	68
Figure 14 : Définition du domaine d'évolution pour un ralentisseur piloté.....	70
Figure 15: Inflamateur Davey Bickford	86
Figure 16: Schéma d'un interrupteur de sécurité pour un dispositif pyrotechnique	86
Figure 17: Gabarit des rampes	96
Figure 18: angles d'utilisation d'un initialisateur et angle d'arrachement	96
Figure 19: Principe des coquilles.....	97
Figure 20: Plan de la rampe rail	98
Figure 21: Exemple de Patin.....	98
Figure 22: Maintien propulseur	100
Figure 23: Alignement du propulseur	101
Figure 24: Bride de maintien du propulseur	101

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, minifusées, fusées expérimentales bi-étages sont également disponibles. **Pour être mené à bien, un projet de fusée expérimentale doit être porté par une équipe de 6 membres environ. Il est particulièrement recommandé de réaliser une fusée facilement « testable » en ayant l'ergonomie à l'esprit tout au long du cycle de 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 responsable du suivi des clubs 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 négociés au cas par cas après établissement d'une demande de dérogation.

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 :

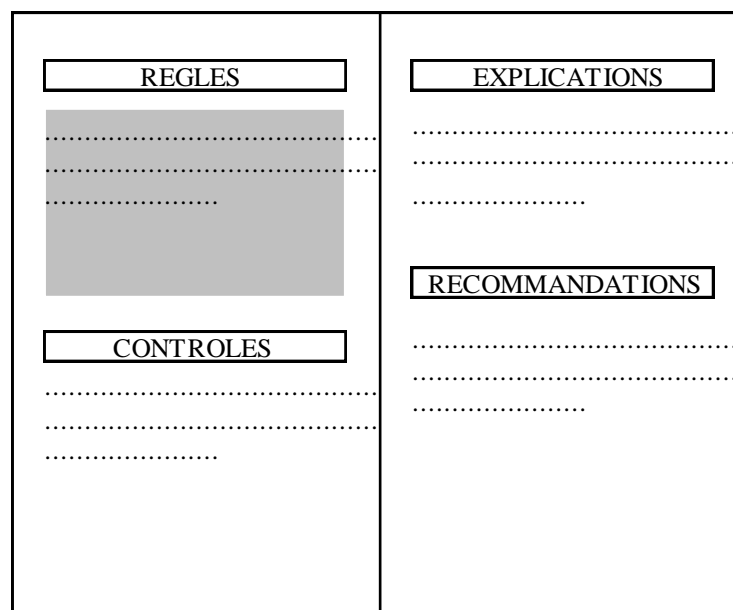


Figure 1: Présentation des chapitres

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 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.

Enfin, une annexe portant sur le suivi documentaire des projets au cours du temps se trouve à la fin de ce document. Elle a pour but de vous aider à saisir la globalité du déroulement et du suivi 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 mono-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.
- 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 :

Phases du projet:

se concluant par :

- Définition de l'expérience **la définition d'objectif
+ la première visite (RCE1)**
- Dimensionnement général
- expérience **l'étude de faisabilité
+ la revue de définition (RCE2)**
- choix du vecteur
- étude des points délicats
- Etude détaillée **le dossier de conception
+ la revue de conception (RCE2)**
- Réalisation des sous-ensembles
- Intégration
- Etalonnage et mise au point **la visite d'avancement (RCE3)**
- Les contrôles **la qualification (C'Space)**
- Mise en œuvre et lancement **le lancement (C'Space)**
- Récupération du vecteur et des données de vols
- Exploitation des données
- Résultats **le compte-rendu d'expérience**

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 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 télémesures ainsi que la manière dont il va les exploiter, et prévoir les résultats qu'il doit obtenir.

CONTROLES

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 [R2] 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 de trajectographie 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.

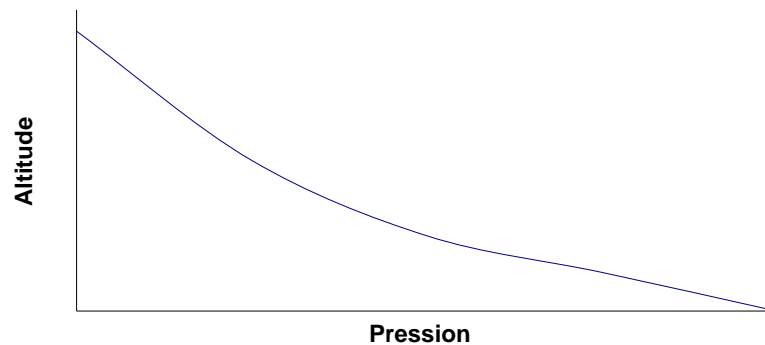
Exemple : on souhaite estimer la différence entre la traînée de la fusée et celle du parachute. Une précision de $\pm 20\%$ sur le C_x doit être acceptable. Pour cela, on souhaite mesurer l'altitude plus précisément (pour garder de la marge) : $\pm 10\%$. De plus, on souhaite mener l'expérience en subsonique (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 PRO 54 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 :

Documentation 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.

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.

CONTROLES

DEF1, 2 : 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, ...).

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 1 heure n'est pas superflue pour toute l'électronique allumée en rampe. Pour l'électronique qui n'est pas allumable en rampe une autonomie de 3 heures permet de faire face aux aléas sur la zone de lancement. Elle assure la réussite de l'expérience.

RECOMMANDATIONS

Une autonomie de 1 heure est le strict minimum, on vous recommande vivement d'avoir une autonomie supérieure et au minimum de 3 heures pour toute électronique qui n'est pas facilement accessible.

3.2.2. Fusées avec télémétrie

3.2.2.1. Télémétrie 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 (voir Figure 2).

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

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

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.

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.

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

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 ...

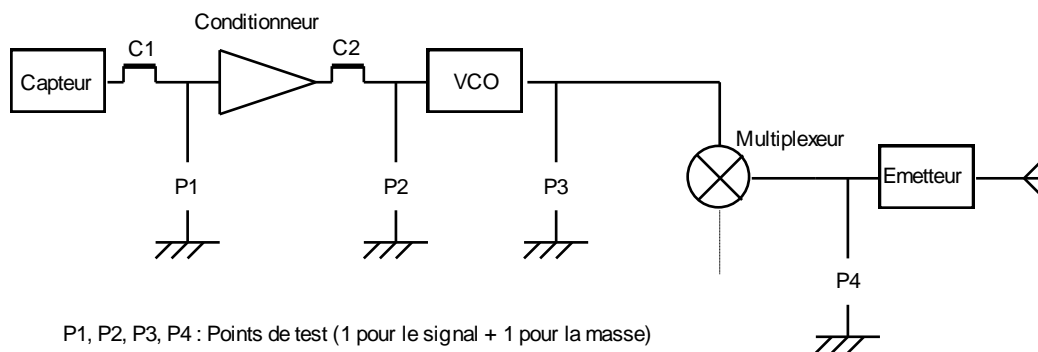
IRIG4 : Un déséquilibre éventuel entre les voies peut empêcher une exploitation correcte des données reçues au sol. En pratique, une voie plus faible sera plus bruitée que les autres. Il n'est pas difficile d'équilibrer toutes les voies à des niveaux de sortie équivalents.

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 pilotant 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 **Erreur ! Source du envoi introuvable.** pour tout savoir sur le protocole de la télémétrie analogique qui vous est proposée.



P1, P2, P3, P4 : Points de test (1 pour le signal + 1 pour la masse)

C1, C2 : Cavaliers

Figure 2: 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, amplificateur de sortie, émetteur (voir Figure 3).

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.

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.

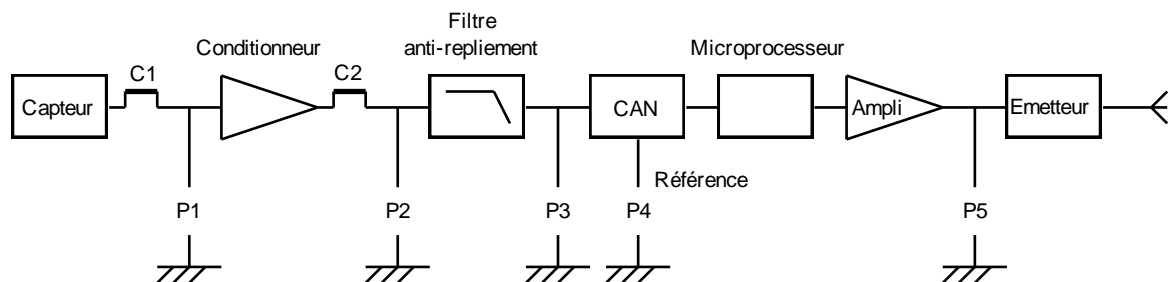
MES2 : Mesure du courant consommé par la chaîne globale à l'aide d'un ampèremètre, puis estimation de l'autonomie en fonction de la capacité des sources d'alimentation (piles, batteries, ...).

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 **Erreur ! Source du envoi introuvable.** 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.



P1, P2, P3, P4, P5 : Points de test (1 pour le signal + 1 pour la masse)

C1, C2 : Cavaliers

Figure 3: Implantation des picots de test et cavaliers pour une télémétrie numérique SNR

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 télémétrie

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.

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, ...).

EXPLICATIONS

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

TEL4 : Les enregistreurs numériques de PLANETE SCIENCES ne peuvent être utilisés qu'avec des émetteurs KIWI (bande passante audio Hi-fi de 20 Hz à 20 kHz).

3.2.2.4. L'émetteur

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

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 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 interrupteur 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 le vol.

CONTROLES

TEL5, 6, 7 : - 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. En cas de doute et à discrétion du contrôleur, un inflammateur réel encapsulé sera placé au niveau du moteur pour prouver que la télémessure ne peut en aucun cas le faire détoner. Le détail des contrôles est à négocier avec PLANETE SCIENCES lors de la revue de définition.

TEL8 : 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, ...).

TEL9 : 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 télémessure 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. Cet émetteur fonctionne par défaut à la fréquence 137.05MHz mais dispose en cas de besoin d'une deuxième fréquence. L'utilisation de cette deuxième fréquence des KIWIS (137.5MHz) est soumise à l'approbation de la Défense, pour laquelle une demande doit être formulée 2 mois auparavant.

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.

La PIRE est la puissance isotrope rayonnée équivalente (ou EIRP en anglais), c'est la puissance qu'il faudrait appliquer à une antenne isotrope pour obtenir le même champ que dans la direction de l'antenne réelle où la puissance est maximale. Numériquement, PIRE (W) = Puissance électrique appliquée à l'antenne (W) x Gain de l'antenne.

TEL6, 7, 9 : 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. Ces contraintes tiennent également compte de la législation en vigueur et participent à la sécurité pyrotechnique (la puissance induite aux fils de l'inflammateur ne doit pas atteindre 4W pour ne pas le faire détoner). Pour information, les téléphones portables, émettant environ 2W, sont interdits en zone rampe.

TEL8 : 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.

<p>TEL10 : Le but est de s'assurer que le fonctionnement de la fusée est bien automatique et non commandé depuis le sol. Le système de récupération par exemple, ne peut être déclenché depuis le sol par simple contrôle visuel.RECOMMANDATIONS</p>

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.

Il est fortement recommandé d'inclure un système permettant de limiter le temps d'émission de la télémétrie lorsque la fusée est retombée.

TEL6 : Il faut éloigner au maximum la ou les antennes du propulseur. Cet éloignement permet de s'assurer (indépendamment de la puissance d'émission) que la puissance éventuellement générée au niveau des fils de l'inflammateur n'atteint pas le niveau requis pour faire détoner un inflammateur, soit environ 4W.

Il est possible de commander la rupture d'alimentation de la puissance d'émission via une télécommande depuis le sol ou par minuterie 10 minutes après le décollage. Le but est tout simplement de libérer la ou les fréquences utilisées pour les autres projets, et ainsi simplifier la mise en œuvre de tous les projets lors de la campagne de lancement.

Cette page est laissée volontairement vide

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 1 heure pour l'électronique allumée en rampe et au moins 3 heures pour le reste.

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.

Enfin, il se peut que votre fusée retombe dans une zone humide voire marécageuse (cf. [R9] détaillant la topologie du terrain).

4. La structure mécanique

4.1. Contraintes mécaniques

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 des 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 convainc PLANETE SCIENCES et les contrôleurs du bien-fondé de sa demande.

REGLES

MEC1 : Flèche

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

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

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

MEC2 : 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_{sup} est la masse de la partie supérieure (numériquement la masse en kg et l'accélération en m/s^2 donnent F en Newton).

Particulièrement, la bague de reprise de la poussée doit résister à deux fois l'accélération maximale du propulseur.

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

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° (la surface en m^2 et la vitesse en 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 : La fusée doit rester intègre quand elle est soulevée verticalement par l'ogive les ailerons vers le bas et par les ailerons l'ogive vers le bas.

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, ...).

CONTROLES

MEC1 : La flèche est mesurée à partir de la plaque de poussée quand la fusée maintenue par le moteur vide à l'horizontal, fixé sur le banc de test. 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 $\leq 1\%$

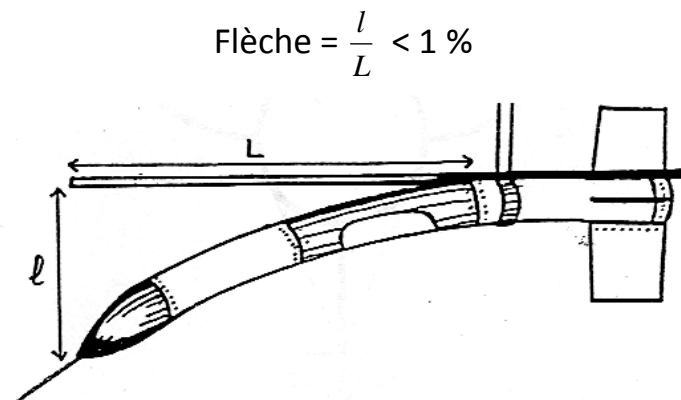


Figure 4: Contrôle de la flèche

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.

MEC2 : 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_{sup} est la masse de la partie de la fusée supérieure de l'élément ; la fusée étant alors contrôlée avec la présence d'une enveloppe propulseur s'appuyant sur la bague de poussée.

MEC3 : La force $F = (2 \times \text{Masse d'un aileron} \times \text{Accélération Max}) + (0,02 \times \text{Surface d'un aileron} \times V_{\text{max}}^2 \times \text{Coefficient de traînée})$ est appliquée en bout d'ailerons. La surface d'un aileron est la surface en plan (typiquement envergure x emplanture). Le contrôle peut être réalisé de différentes manières, suivant la configuration des ailerons (cf. Figure 5).

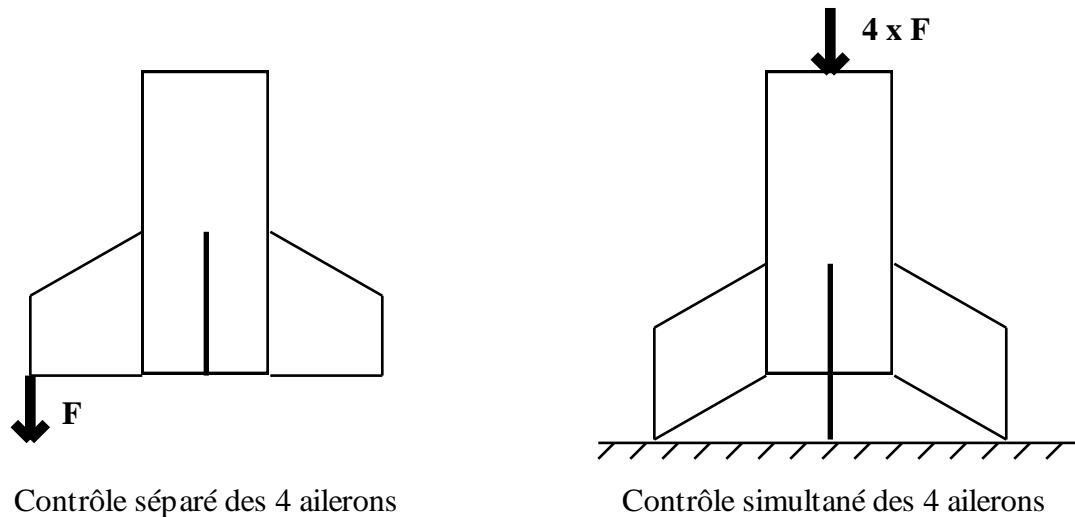


Figure 5: Résistance longitudinale des ailerons

MEC4 : 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 6). La surface d'un aileron est la surface en plan (typiquement envergure \times emplanture).

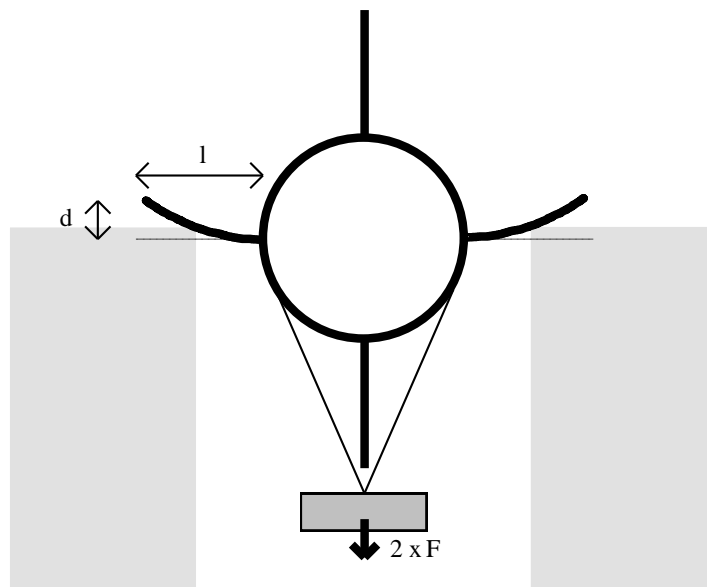


Figure 6: Résistance transversale des ailerons

MEC5 : L'alignement est mesuré comme suit :

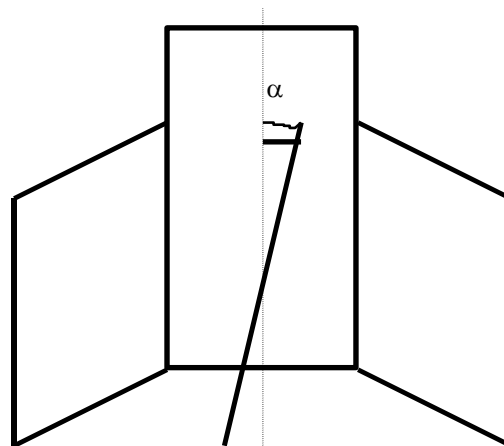


Figure 7: Alignement des ailerons

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

MEC6 : La perpendicularité est mesurée ainsi :

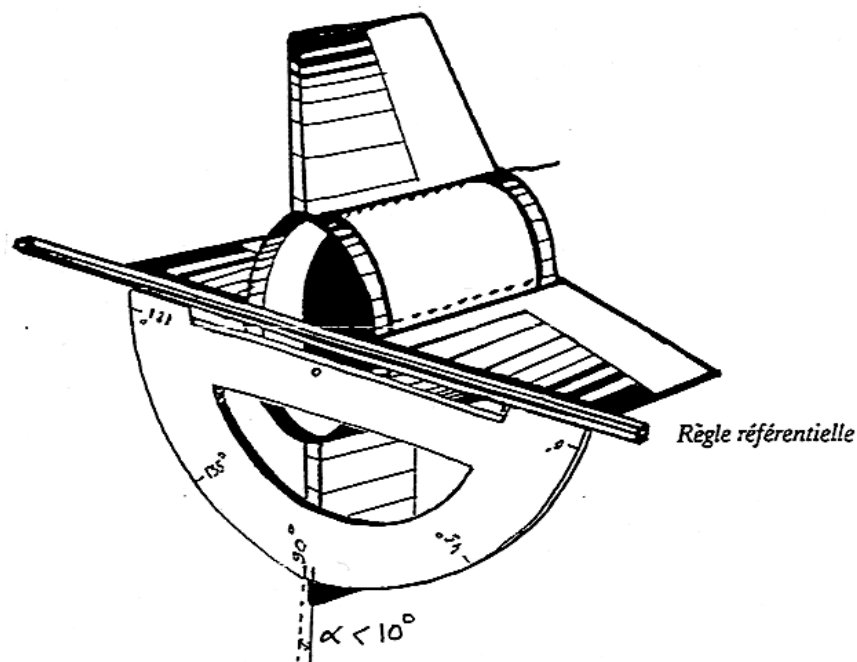


Figure 8: Perpendicularité des ailerons

MEC7 : La fusée est soulevée du sol à la verticale par le haut (ogive) et par le bas (ailerons). La fusée doit rester intègre.

MEC8 : Les contrôles mécaniques décrits sont à appliquer aux deux jeux d'ailerons qui doivent tous deux réussir ces tests.

MEC9 : Vérification de la bonne tenue mécanique des différents éléments (notamment le câblage et la connectique), en secouant vigoureusement la fusée.

EXPLICATIONS

MEC1 : 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.

MEC2 : 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.

MEC3, 4, 5, 6, 8 : 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. La formule de la règle MEC3 a été construite pour tenir compte des contraintes d'un vol supersonique, le facteur 0,02 étant la valeur approchée de $2 \times 0,5 \times \text{masse volumique de l'air} \times \sin(1)$ (le $\sin(1)$ permettant de projeter la surface de l'aileron avec son désalignement maximal autorisé de 1°). On retrouve alors l'estimation de la traînée aérodynamique : $0,5 \times \text{masse volumique de l'air} \times \text{Surface projetée d'un aileron} \times V_{\text{max}}^2 \times \text{Coefficient de traînée}$, surestimée avec un facteur de sécurité de 2.

MEC7, 9 : Pour des raisons de stabilité, il est important que le centre de gravité ne soit pas trop modifié durant le vol propulsé et la phase balistique ascendante. D'autre part, il est important par exemple, que la carte électronique de récupération ne se déplace pas, ce qui pourrait mener à une rupture de fils d'alimentation...

RECOMMANDATIONS

Il est fortement déconseillé de percer ou de pratiquer des enlèvements de matière quelconques dans les ailerons. En effet, cela affaiblirait leurs propriétés mécaniques et donc leurs chances de passer les contrôles et à plus long terme, de garantir la sécurité du vol. Cependant, si un tel procédé était nécessaire, un film de revêtement (type entoilage d'aéromodélisme) doit alors être appliqué afin que les ailerons soient pleins pour l'écoulement de l'air.

Se renseigner auprès de PLANETE SCIENCES.

Cette page est laissée volontairement vide

4.2. 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 : 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.

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.

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° ou moins.

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, l'élanement 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 !

STAB6 : Dans le cas de deux jeux d'ailerons alignés, le premier jeu d'ailerons va diminuer l'efficacité du second (dans le sens du vent relatif). Cette perte d'efficacité est prise en compte via l'option « bi-empennage à ½ masqué » dans l'outil de trajectographie de PLANETE SCIENCES. La modélisation de ce phénomène étant conservative, il faut également être stable dans le cas non masqué.

STAB7 : L'outil de trajectographie ne peut être utilisé que pour des ailerons ayant un profil symétrique et prend notamment comme hypothèse un profil de plaque plane. D'autre part, ni le modèle issu du travail de Barrowman ni le logiciel ne permettent pas de prendre en compte des ailerons non identiques (en forme plane et en profil) sur un même empennage. De plus, ce modèle ne peut fonctionner que pour un nombre d'ailerons égal à 3 ou 4.

RECOMMANDATIONS

Le logiciel de stabilité et de trajectographie 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 $MSxC_n$.

Des ailerons de formes non trapézoïdales peuvent être validés par recouvrement. Pour cela, il doit être possible de les encadrer par deux formes trapézoïdales, la première incluse dans la forme réelle de l'aileron et la seconde incluant la forme réelle, cf. [R1], validant toutes les deux la stabilité.

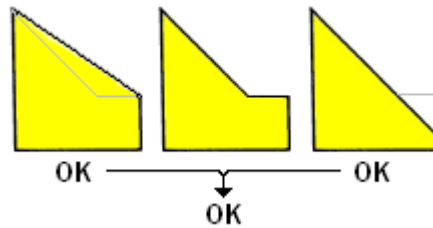


Figure 9 : calcul d'ailerons de forme quelconque

Si deux empennages sont nécessaires, il est préférable de ne pas les aligner. Il faut alors cependant se méfier de la compatibilité rampe. Si cela n'est pas possible, réduire l'envergure de l'empennage du haut (en amont de l'écoulement) réduit l'écart de résultats entre les deux cas de calculs (ailerons non masqués et ailerons à $\frac{1}{2}$ -masqués).

Si un profil autre que la plaque plane est adopté, il est chaudement recommandé de s'assurer que le projet est stable lorsque contrôlé par l'outil de trajectographie (en considérant des ailerons de même dimensions mais en plaque plane).

Enfin, une démarche expérimentale est possible en procédant au test à la ficelle de la fusée (cf. [R1]). Cependant, ce test est conservatif et peut donc déclarer une fusée non stable alors qu'elle l'est.

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 de la fusée et de tout autre élément éjecté doit permettre une arrivée au sol à une vitesse verticale de moins de 15 m/s et de plus de 5m/s.

REC3 : L'instant de déploiement du système ralentisseur doit être compatible avec l'expérience menée par le club.

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 :

Dans le cas d'un système de ralentissement avec plusieurs parachutes : la vitesse de descente devra respecter une vitesse verticale comprise entre 5 et 15m/s quel que soit la configuration du système (configuration nominale ou dégradée).

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

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

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

EXPLICATIONS

REC1 : Le but est de récupérer la fusée en bon état. Ces trois tests successifs de la récupération ne constituent pas le vol simulé (voir CHRONO2).

REC2 : La descente de la fusée ou d'un élément éjecté 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.

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 de trajectographie de Planète Sciences).

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 goupilles 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, ...). Il est aussi recommandé d'utiliser un dispositif de sécurité pour garantir le maintien de la goupille en rampe.

REC3 : 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.

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

CONTROLE

INI1 : Vérification de la reproductibilité du processus d'initialisation (3 essais d'initialisation pour tester la récupération indépendamment des autres systèmes, et un vol simulé pour tester l'ensemble du projet).

EXPLICATIONS

INI1 : 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.

RECOMMANDATION

Si vous utilisez une prise arrachable pour l'initialisation, préférez un initialiseur qui rompt un contact plutôt que l'inverse. Il faut que la longueur du fil soit supérieure à 1m afin d'éviter l'arrachage intempestif lors des opérations en rampe.

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).

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 électrique, n'est autorisée entre les séquenceurs et entre chaque séquenceur et tout autre système électrique embarqué.

SEQ2 : Le séquenceur doit avoir une autonomie d'au moins 1 heure et la mise en marche doit se faire en rampe.

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, voyants, buzzer, ...) :

-séquenceur sous tension ou hors tension

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

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

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.

$$T1 \geq 0.8 * T.$$

$$T2 \leq 1.2 * T.$$

avec T = instant prévu de déclenchement

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

Le temps T2 sera utilisé pour déterminer les paramètres de vol au moment de l'ouverture (ex. vitesse relative à l'extraction parachute...).

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. Un plan des masses doit être fourni à cet effet par le club.

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 10) :

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

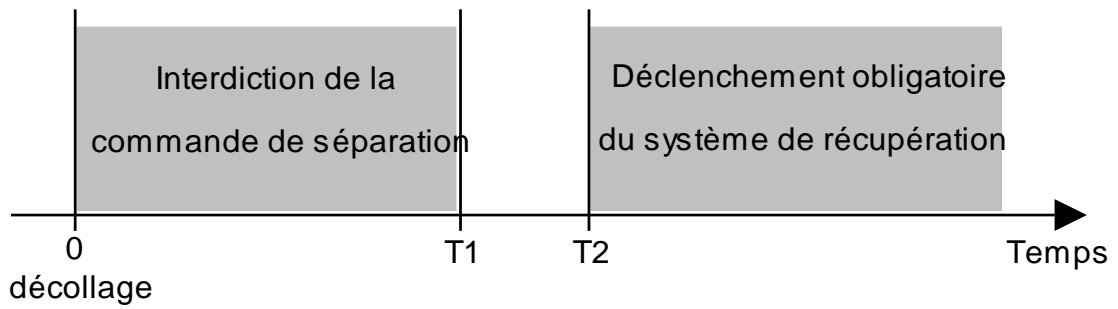


Figure 10: Fenêtrage temporel

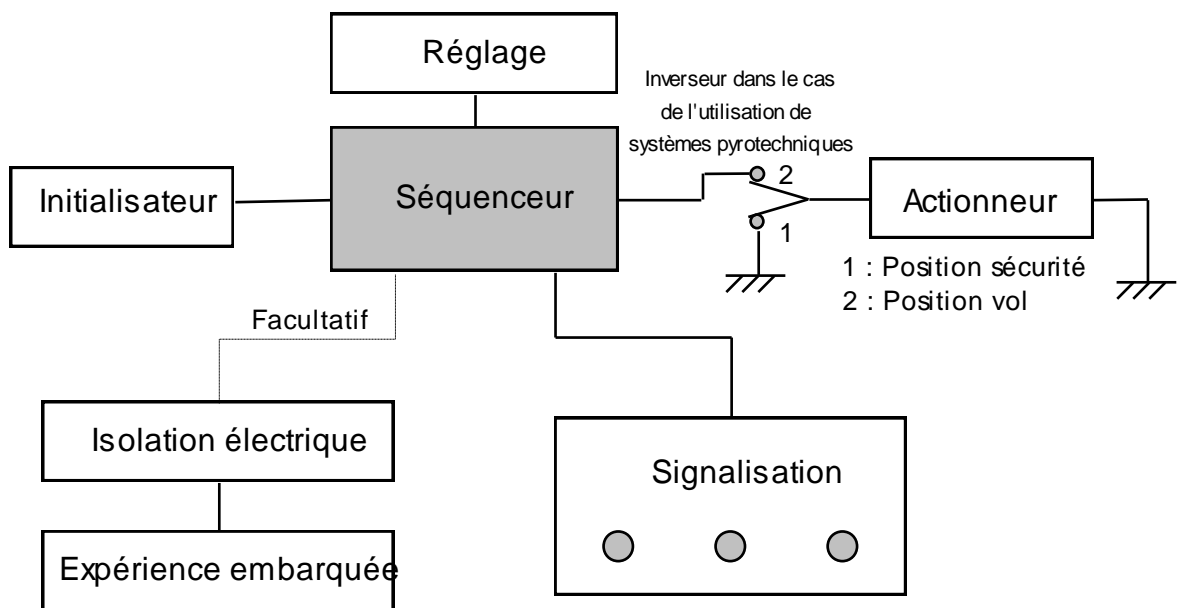


Figure 11: L'environnement du séquenceur

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'opto-coupleurs 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

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.

CONTROLES

REC4 : La fusée étant posée verticalement, ogive vers le haut ou vers le bas, à la préférence du club, on vérifie qu'à la séparation les deux parties de la fusée se déboîtent l'une de l'autre et 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

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_{sup} est la masse de la partie supérieure

(numériquement l'accélération en 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 la fusée.

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 la fusée.

CONTROLES

REC5 : 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.

REC6 : On pose une règle sur la porte latérale en position fermée. Les deux extrémités de la règle doivent toucher la peau de la fusée.

REC7 : 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

REC5 : 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.

REC6 : Un entrebâillement de la porte peut provoquer un arrachement de celle-ci lors du vol de la fusée.

REC7 : 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.

RECOMMANDATIONS

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

REC6 : S'il n'est pas possible de fermer la porte sans qu'elle ne dépasse du profil, il est possible de caréner son entrebâillement à l'aide de scotch que l'on replie sur lui-même, cf. Figure 12.

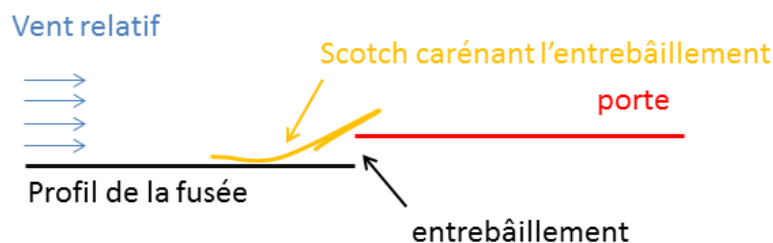


Figure 12 : Carénage de porte entrebâillée

5.4.3. Autres types de système

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 de la fusée et de tout autre élément éjecté doit permettre une arrivée au sol à une vitesse verticale de moins de 15 m/s et de plus de 5m/s.

REC3 : L'instant de déploiement du système ralentisseur doit être compatible avec l'expérience menée par le club.

REC8 : L'accélération et les vibrations de la fusée ne doivent pas modifier le fonctionnement du système de récupération

REC9 : Les systèmes de récupérations utilisés doivent auparavant avoir été testés positivement sur une minifusée.

CONTROLES

Contrôles spécifiques permettant de vérifier ces règles.

EXPLICATION

On souhaite s'assurer que le ralentisseur sera activé.

5.5. Le ralentisseur

REGLES

REC10 : Le ralentisseur doit être suffisamment solide 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). Voir Figure 13.

CONTROLES

REC10 :

Utilisation d'un parachute :

Force maximal à l'ouverture :

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

Où :

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

Surface est la surface dépliée du parachute (en m²)

- *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).

REC11 : Vérification de la présence d'un anneau anti-torche ou d'un émerillon.

Autres types de ralentisseur :

Contrôles spécifiques au type de ralentisseur employé.

EXPLICATIONS

REC10 : 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 et des incertitudes du vol et sur la géométrie de la fusée.

REC11 : 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.

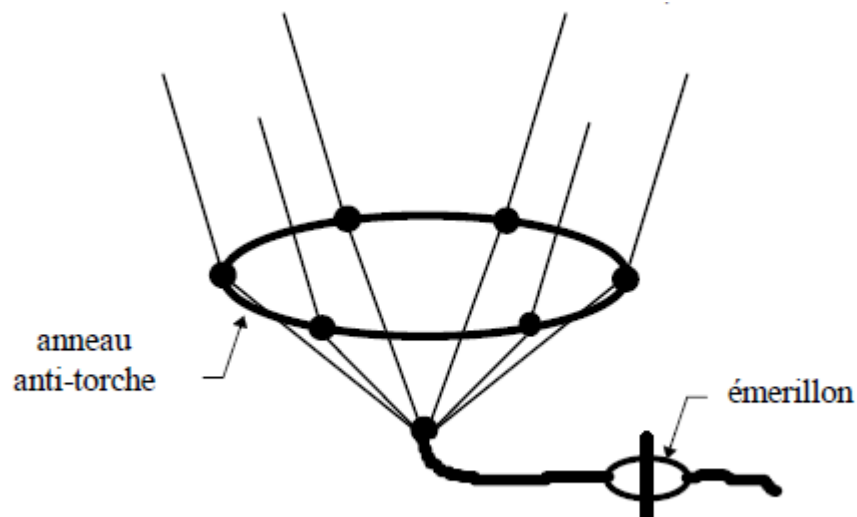


Figure 13: Anneau anti-torche

REMARQUE

Dans le cas de l'utilisation de deux parachutes s'ouvrant à des temps différents, les règles sur les vitesses de descente doivent être respectées dans toutes les configurations.

5.6. Ralentisseur piloté

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.

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 convainc PLANETE SCIENCES et les contrôleurs du bien-fondé de sa demande.

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.

CONTROLES

REC12 : Il sera vérifié que la descente du mode de sécurité est obtenue soit sous ralentisseur classique non piloté, soit balistiquement, mais dans les deux cas sans remettre en cause le gabarit de vol fourni par PLANETE SCIENCE.

REC13 : Il sera vérifié que le domaine d'évolution alloué pendant la phase de descente pilotée, plus le domaine de descente prédictible n'excède pas le gabarit autorisé, voir schéma ci-dessous.

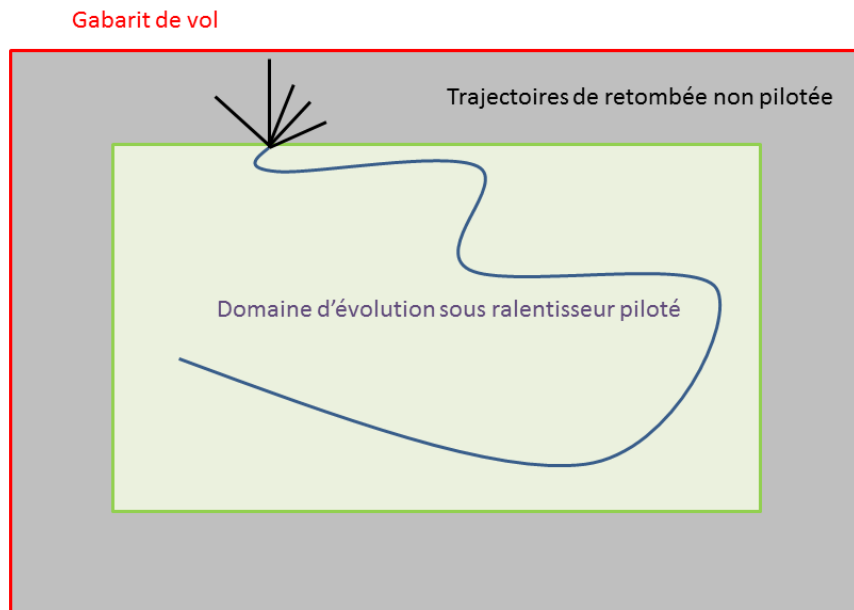


Figure 14 : Définition du domaine d'évolution pour un ralentisseur piloté

Il sera vérifié que si l'information (contact visuel ou signal GPS par exemple) n'est pas disponible la descente prédictible doit être déclenchée.

REC14 : Il sera vérifié que le club implémente une solution pour mesurer la vitesse et le traitement adéquat pour déclencher la descente prédictible.

REC15 : Il sera vérifié qu'un tel document comprenant les éléments justifiant les règles REC12, 13 et 14 a été transmis lors de la RCE2.

EXPLICATIONS

REC12&13 : Il est essentiel de s'assurer que la fusée ou module(s) en descente pilotée ne vont pas sortir du gabarit de vol autorisé, mettant ainsi en danger les biens et les personnes impliqués ou non dans la campagne de lancements. Le gabarit autorisé est fourni par PLANETE SCIENCES, référence [R9]. Il est possible d'utiliser pour cela un positionnement par satellites à bord, ou un contrôle visuel depuis le sol. Ce contrôle visuel sera effectué par les points de localisation qui relèveront l'azimut de la fusée ou du module, cet azimut ne devant pas outrepasser une limite fixée en descente pilotée. Si c'est le cas, l'ordre de déclenchement de descente prédictible est alors transmis par radio.

REC14 : cf. REC2. De plus, en cas de défaillance à bord de la fusée ou du module, une information doit permettre de déclencher la descente prédictible et ainsi la récupération du projet.

REC15 : Ce document facilitera le suivi du projet par PLANETE SCIENCES et le CNES, en particulier en ce qui concerne le déroulement du vol en phase de descente. Il n'est pas attendu un dossier complet justifiant tous les aspects mais bien un document simple et synthétique.

RECOMMANDATIONS

REC12 : Si cela est possible, les paramètres (coordonnées GPS par exemple) de déclenchement du mode de sécurité doivent être réglables. Cela facilitera les contrôles mais aussi le travail de l'équipe du projet.

REC13 : Pour le positionnement par satellites : Il est conseillé de définir grâce à un positionnement par GPS un domaine d'évolution en dehors duquel une descente prédictible est déclenchée, permettant la récupération dans le gabarit autorisé. Cette fonction sera testée au sol pendant les contrôles. Les points GPS délimitant le gabarit de vol sont à demander auprès de PLANETE SCIENCES.

REC13 : Pour le contrôle visuel depuis le sol : Il est conseillé de réaliser une fusée ou un module de grandes dimensions et de couleurs vives telles que le rouge ou l'orange afin d'en faciliter la détection dans le ciel. Cependant, même un objet de grandes dimensions est difficile à suivre à partir de 300~400m, il est donc recommandé d'installer un traceur fumigène à bord (cf. LOC3 ci-après).

REC13 : Il est également possible de limiter la finesse (rapport de la distance parcourue en fonction de l'altitude) en fonction de l'altitude de déploiement du ralentisseur piloté afin de ne pas sortir du gabarit de vol fourni par PLANETE SCIENCES. Il est enfin recommandé de pouvoir modifier facilement les temps de déclenchement du ou des ralentisseurs.

REC14 : Il peut être utile de ne pas prendre en compte cette mesure dans les premiers instants de la descente, pour ne pas déclencher la descente prédictible intempestivement à cause d'un bruit de mesure par exemple.

De manière générale, il est recommandé d'implémenter un ralentisseur de secours « classique » permettant une descente maîtrisée de façon indépendante du ralentisseur piloté (notamment dans le cas d'aérofreins).

REC15 : Le document doit particulièrement exposer le point de vue système du club. Sauf éléments dignes d'une attention particulière, ce document peut se limiter au séquentiel de la phase de descente du projet et aux solutions concrètes mise en place pour respecter les règles REC12, 13 et 14. Il peut s'agir (si disponible et pertinent) d'une vidéo d'essai montrant le fonctionnement du système. Il est cependant conseillé de suivre la trame ci-dessous, et de l'adapter selon les besoins du club :

Avant-propos

Sommaire

Introduction

Chapitre 1 : Généralités

1. Présentation du club
2. Présentation de l'équipe
3. Caractéristiques principales du projet
4. Financement et partenaires
5. Planification
6. Retours d'expérience de projets précédents

Chapitre 2 : Structure mécanique

1. Généralités
2. Structure de la fusée
3. Ralentisseur et actionneurs

Chapitre 3 : Systèmes électroniques embarqués

1. Séquenceur principal
2. Expérience
 - a. Séquentiel de descente
 - b. Mode de sécurité

Annexes

Annexe 1 : Schémas électroniques

Annexe 2 : Plans mécaniques

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

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.

CONTROLE

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

EXPLICATION

LOC1 : Il s'agit de la bande de fréquence utilisée pour la télémétrie (émetteurs KIWI). Toute utilisation de cette bande de fréquence provoquerait donc un brouillage mutuel des transmissions (localisation et télémétrie par exemple).

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.

RECOMMANDATION

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.

Les règles TEL5 à 10 ont été écrites pour respecter la réglementation internationale des télécommunications. Les respecter à la lettre permet donc de s'affranchir d'une dérogation complexe à obtenir.

6.0.2. Dans le cas d'une localisation par fumigènes 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.

CONTROLES

LOC3 : La température des gaz à la sortie des événements ne doit pas permettre d'enflammer une feuille de papier. Le dossier de conception doit comporter une notice du fabricant précisant ce point (MSDS, Material Safety DataSheet, ou FDS, Fiche de Sécurité, du produit ainsi que le protocole de mise en œuvre sur la fusée) pour la RCE2.

EXPLICATIONS

LOC3 : Une crépine est un dispositif destiné à contenir les corps rejetés pour ne pas mettre en danger l'environnement. Un fumigène ne rejetant pas de corps incandescents est de type « froid », non dangereux pour les biens et personnes l'entourant.

Cette page est laissée volontairement vide

7. Qualité

REGLES

QUAL1 : Le club doit établir pour la RCE2 un planning détaillé de son projet allant jusqu'à l'exploitation des résultats. Il doit également répartir les tâches entre les différents participants au projet.

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 RCE2 un dossier de conception.

CONTROLES

QUAL1 : Vérification de la présence du planning et du document de répartition des tâches dans l'étude de faisabilité lors de la RCE2.

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

QUAL2, 3, 4 et 5 : Vérification de la présence de ces plans et documents dans le dossier de conception.

QUAL6 : Vérification lors de la RCE2 que le club a transmis un tel dossier à PLANETE SCIENCES. Si aucun élément n'est transmis aucun propulseur ne sera prévu pour le projet.

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 et préférez l'utilisation de câbles multibrins.

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.

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.

Enfin il est essentiel que le club fournisse des informations sur sa conception afin de considérer le projet comme actif.

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 équipés d'un système permettant aux équipes opérationnelles de connaître leur état à chaque instant. De la même façon, les télémesures en bande GSM ne doivent pas émettre entre le début des opérations pyrotechniques et le décollage. Il est enfin interdit d'installer un récepteur de télémesure en zone pyrotechnique.

SECU5 : Le club doit fournir la portée balistique et l'altitude d'apogée pour un lancement à 80° ainsi que la portée balistique pour un lancement à 45° pour la RCE2.

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).

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. Les batteries LiPo-Sic ne sont pas considérées comme des produits dangereux.

SECU4 : Contrôle spécifique.

SECU5 : Vérification de l'existence d'un document renseignant la portée balistique et l'altitude d'apogée pour un lancement à 80° ainsi que la portée balistique pour un lancement à 45° lors de la RCE2.

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

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. Il faut enfin s'assurer qu'aucun changement d'état de la fusée ne peut avoir lieu pendant les opérations pyrotechniques et qu'aucune source de puissance susceptible de faire détoner l'inflamateur n'est présente au moment où les pyrotechniciens sont au contact de la fusée.

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. Cf. [R10] pour plus de détails sur le modèle de sauvegarde établi par le CNES.

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°.

RECOMMANDATION

SECU4 : 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).

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 la fusée pourrait être nécessaire.

8.2. Utilisation de systèmes 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.

CONTROLES

SECU7 : Le club doit fournir avec son dossier de conception la documentation technique (MSDS, Material Safety DataSheet, ou FDS, Fiche de Sécurité, du produit ainsi que le protocole de mise en œuvre sur la fusée) concernant les actionneurs pyrotechniques qu'il utilise pour la RCE2.

SECU8, 9, 10 : 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

SECU7 : La mise en œuvre d'éléments pyrotechniques ne répondant pas à cette règle nécessite d'être traitée au travers d'une Etude de Sécurité pyrotechnique du Travail (EST) ou d'une Analyse de Sécurité du Travail (AST) traçant les écarts à une EST de référence.

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

RECOMMANDATIONS

De tels systèmes n'ont plus été utilisés depuis de nombreuses années. On recommande de n'y recourir que dans l'absence de toute autre solution.

PLANETE SCIENCES recommande l'emploi de l'inflamateur type Davey Bickford dont les dimensions sont indiquées Figure 15 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.).

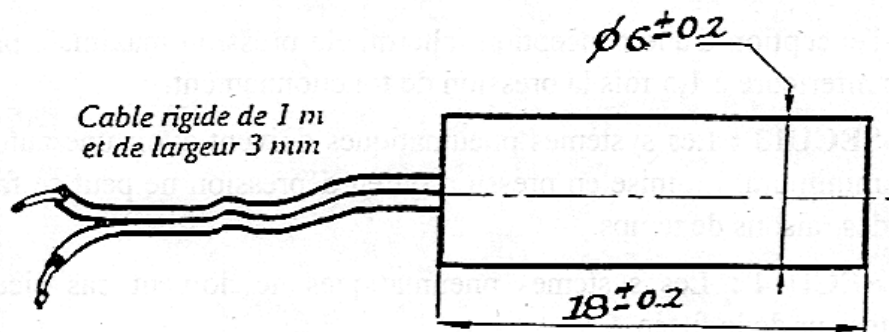


Figure 15: Inflamateur Davey Bickford

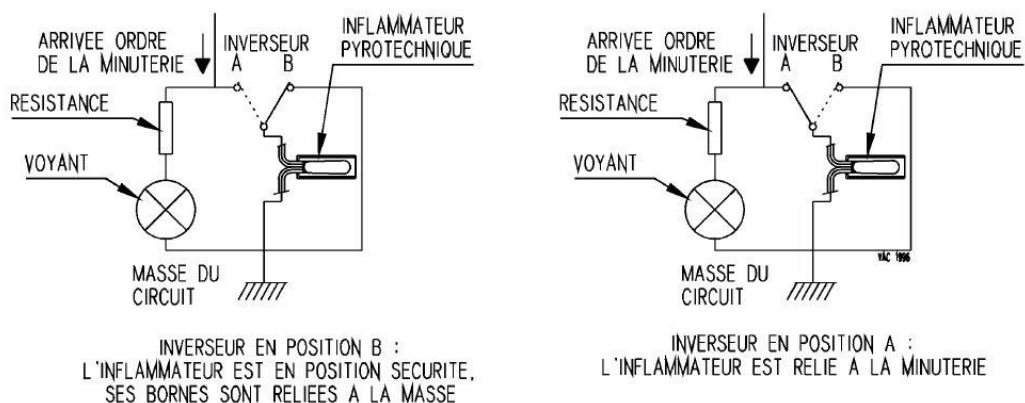


Figure 16: Schéma d'un interrupteur de sécurité pour un dispositif pyrotechnique

Le voyant s'allume lorsque l'ordre du séquenceur arrive.

Attention : ces inflammateurs 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

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.

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.

CONTROLES

SECU11 : La nature ininflammable des gaz utilisés sera vérifiée soit par un certificat du fabricant, soit par un essai.

SECU12 : La présence d'une purge sera vérifiée pendant les contrôles.

SECU13 : La valeur du coefficient de sécurité doit être fournie, soit par un certificat du fabricant, soit par un essai.

SECU14 : La présence d'une valve ou d'un manomètre sera vérifiée pendant les contrôles.

SECU15 : L'autonomie sera vérifiée par un test pendant les contrôles.

SECU16 : Le fonctionnement du système pneumatique sera vérifié lors d'un essai pendant les contrôles.

SECU17 : Il sera vérifié pendant les contrôles que la pression maximum par conception est inférieure à 10Bar.

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

EXPLICATION

L'emploi de systèmes pneumatiques présente un danger pour le manipulateur, les règles décrites précédemment tendent à diminuer le risque d'accident. SECU12 : Cette purge permet de vider le gaz sous pression sans avoir à effectuer de démontage du circuit, risqué tant pour le circuit lui-même que pour les manipulateurs.

RECOMMANDATIONS

SECU12 : Cette purge est idéalement accessible de l'extérieur de la fusée, sans démontage.

SECU17 : Afin d'assurer la sécurité pour les systèmes pneumatiques avec une pression de fonctionnement supérieure à 10 bars, il est nécessaire d'envoyer à PLANETE SCIENCES un dossier complet comportant au minimum la documentation des différents éléments du système, un schéma général et les règles et consignes de sécurité à mettre en œuvre pour garantir la sécurité des personnes lorsque le système est sous pression.

8.4. Sécurité électrique

REGLES

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

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

CONTROLE

SECU18 : Il sera vérifié lors des contrôles que les cartes électroniques ne sont pas raccordées à la ligne de mise à feu du moteur.

SECU19 : Mesure des tensions d'alimentation et analyse du schéma si nécessaire. Une alimentation en +16V –16V n'est donc pas admise.

EXPLICATIONS

SECU18 : 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. Par contre, un Top feu est disponible en zone pupitre de mise à feu pour commander des systèmes annexes non embarqués (appareil photo, ...).

SECU19 : 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.

8.5.Sécurité de l'information

SECU20 : Suivant le site de lancement, l'utilisation de caméra ou d'appareil photo peut être proscrite. Se renseigner auprès de PLANETE SCIENCES.

EXPLICATIONS

SECU20 : Le lancement de fusée expérimental peut se dérouler sur des sites stratégiques sensibles. La prise d'image est donc réglementée suivant les sites de lancement et la date.

RECOMMANDATIONS

Se renseigner auprès de PLANETE SCIENCES.

9. Mise en œuvre

9.1. 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)	∅ mini (mm)	∅ maxi (mm)	envergure maxi (mm)	largeur patin (mm)	masse maxi de la fusée (kg)	nombre d'ailerons
IDEFIX	2000	40	60	260	20	5	4
ASTERIX	4000	40	130	370	20	25	4
OBELIX	4000	40	160	370	20	25	4
MENHIR	4000	90	200	720	20	80	4
TOUTATIS - cage	5000	40	200	800	10	20	4
TOUTATIS - rail	5000 ou 7000	Sans objet	Sans objet	600	cf. Figure 20	20	3 ou 4

NB : La longueur maxi s'entend hors antenne. Cette règle est sans objet si le club fournit sa rampe de lancement ; dans ce cas, le club doit prévenir dès la revue de définition PLANETE SCIENCES, qui examinera le dossier technique de la rampe.

CR2 : Sauf utilisation d'une rampe rail, les zones devant être accessibles (interrupteurs, voyants, prise d'initialisation, ...) doivent se trouver à $\pm 20^\circ$ dans l'alignement des ailerons.

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 : Sauf utilisation d'une rampe rail, en rampe, le diamètre extérieur de la fusée devra être le même tout au long de la fusée entre le bas du cône et le bas du moteur.

Donc si la fusée a une jupe ou un rétreint, le club devra prévoir des coquilles pour supprimer la différence de diamètre extérieur lors du glissement dans la rampe. Ces coquilles ne doivent pas masquer le bord d'attaque des ailerons.

Dans le cas de l'utilisation d'une rampe rail, les patins doivent être de longueurs adéquates pour que l'axe de la fusée soit parallèle à l'axe du rail.

CR8 : Dans le cas de l'utilisation d'une rampe rail : la fusée doit être équipée de deux patins alignés, et disposés à égales distances de deux ailerons, permettant de guider la fusée le long du rail. Les patins devront résister aux efforts transverses. Les efforts sont déterminés de manière suivante :

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

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 : 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.

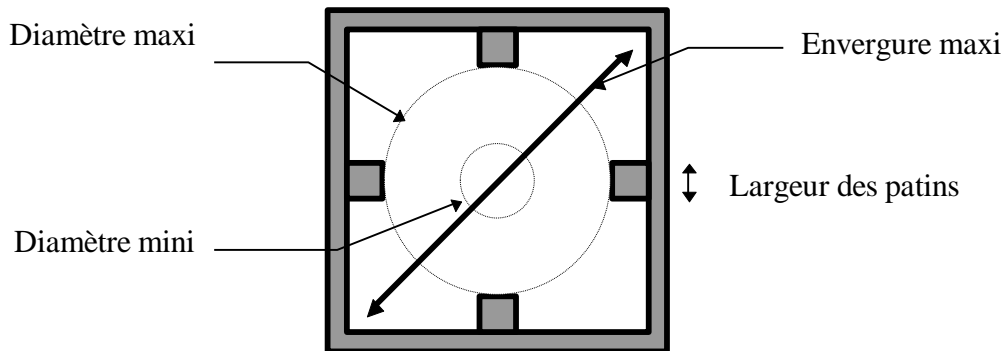


Figure 17: Gabarit des rampes

L'aérodynamique des fusées impose la présence d'au moins trois ailerons, mais les rampes « cages » de PLANETE SCIENCES, par la disposition des glissières de guidage, n'acceptent que les fusées à 4 ailerons. Une fusée à 3 ailerons devra donc être compatible de la rampe rail.

CR2 : Voir Figure 18 ci-dessous.

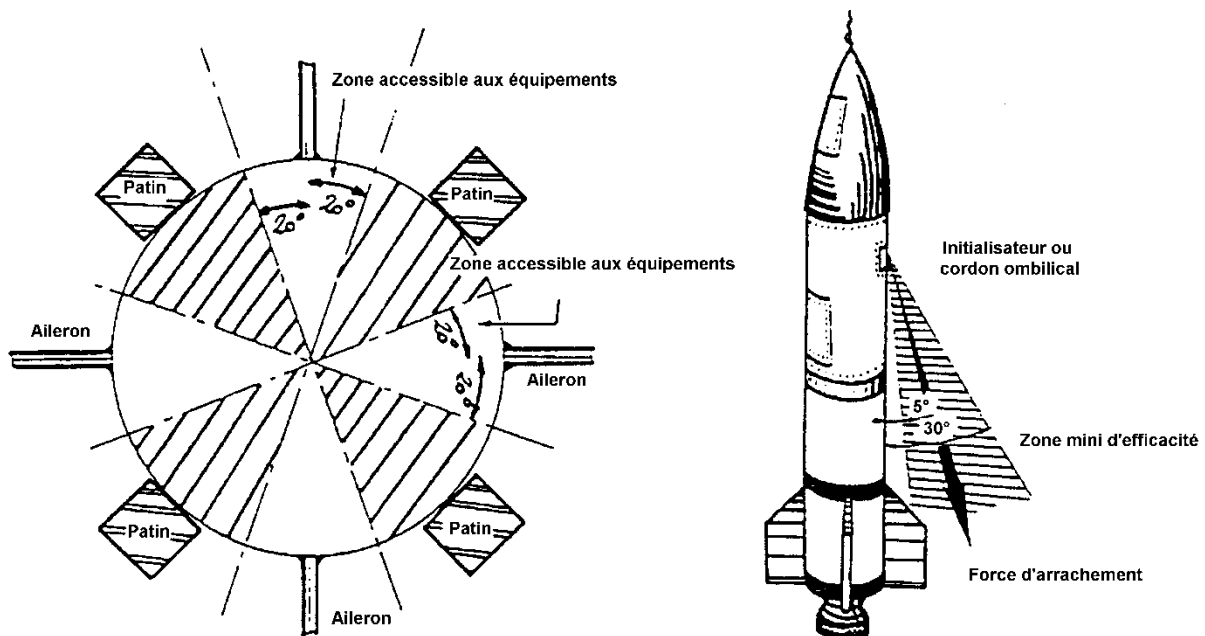


Figure 18: angles d'utilisation d'un initialiseur et angle d'arrachement

CR3 : On peut citer comme exemple d'éléments éjectables les goupilles sortantes des systèmes de récupération.

CR4 : Il n'est pas possible d'introduire la fusée en rampe lorsque celle-ci est érigée. Il faut donc pouvoir introduire la fusée par l'avant de la rampe, culot en premier.

CR5 : Les initialiseurs 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 18). Ceci est imposé par la méthode employée actuellement pour accrocher les cordons ombilicaux et les initialiseurs à la rampe.

CR6 : La mise en œuvre de la fusée ne doit pas demander trop de manipulations.

CR7 : 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. Elles ne doivent cependant pas masquer les ailerons et les empêcher d'être efficaces.

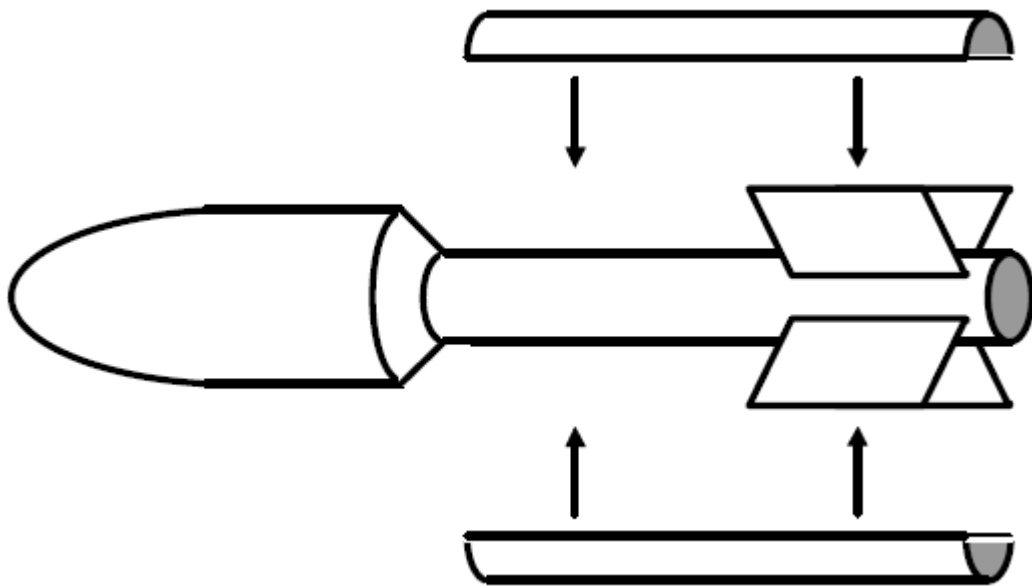


Figure 19: Principe des coquilles

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. Le profil de la rampe rail fusex n'est pas le même que celui des rampes rails minifs types Rocketry Challenge, cf. Figure 20 et Figure 21 ci-dessous.

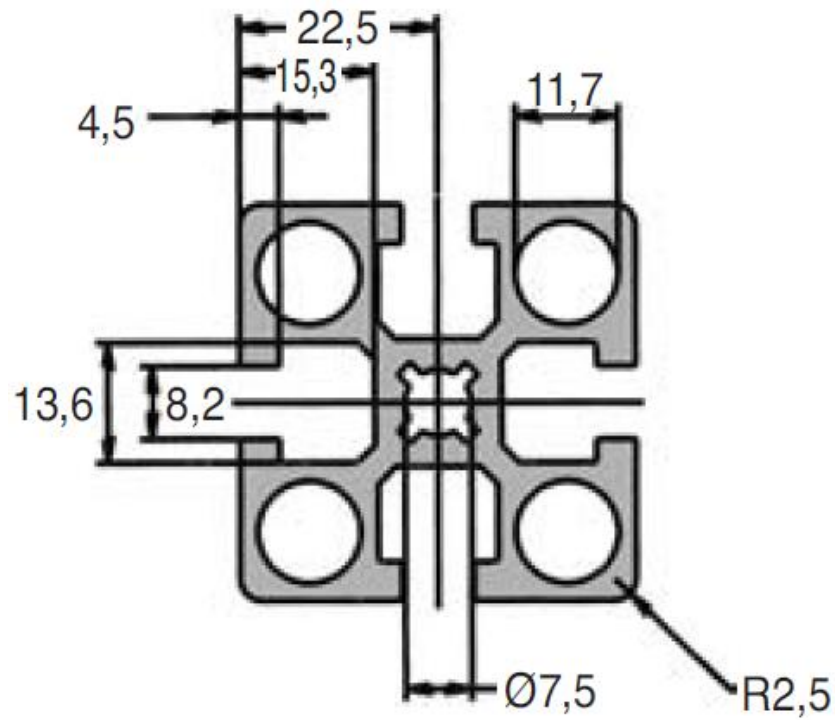


Figure 20: Plan de la rampe rail

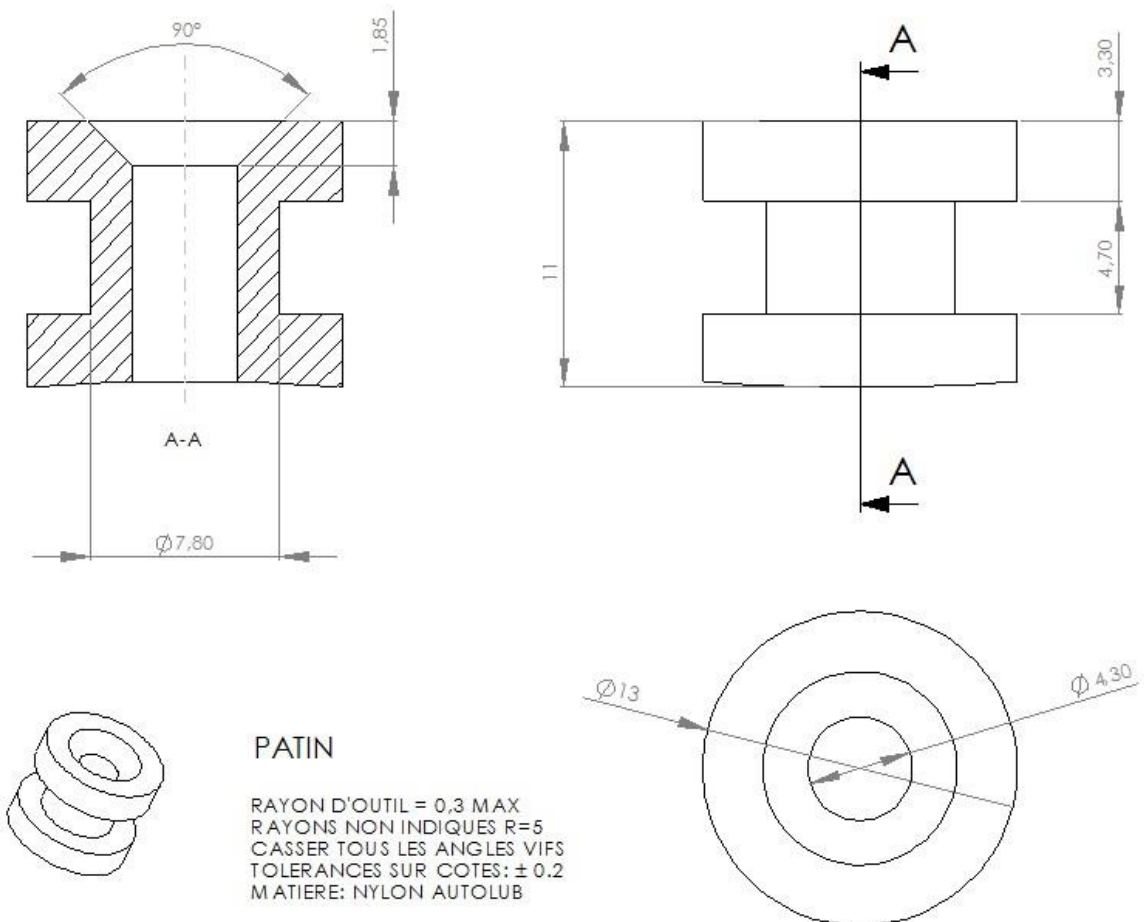


Figure 21: Exemple de Patin

RECOMMANDATIONS

Dans le cas de l'utilisation des rampes , le gabarit est en réalité plus libre que ce qui est indiqué. Cependant pour s'assurer de la compatibilité rampe dans des cas trop extrêmes (hors des limites indiquées par ce cahier des charges), il est nécessaire de faire un essai de mise en rampe pendant le C'Space.

Dans le cas de Menhir, il est nécessaire de grimper sur un escabeau pour mettre la fusée en rampe.

9.2. 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 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 »). **CP5** : Le défaut d'alignement entre le propulseur et le corps de la fusée doit être inférieur à 1°.

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

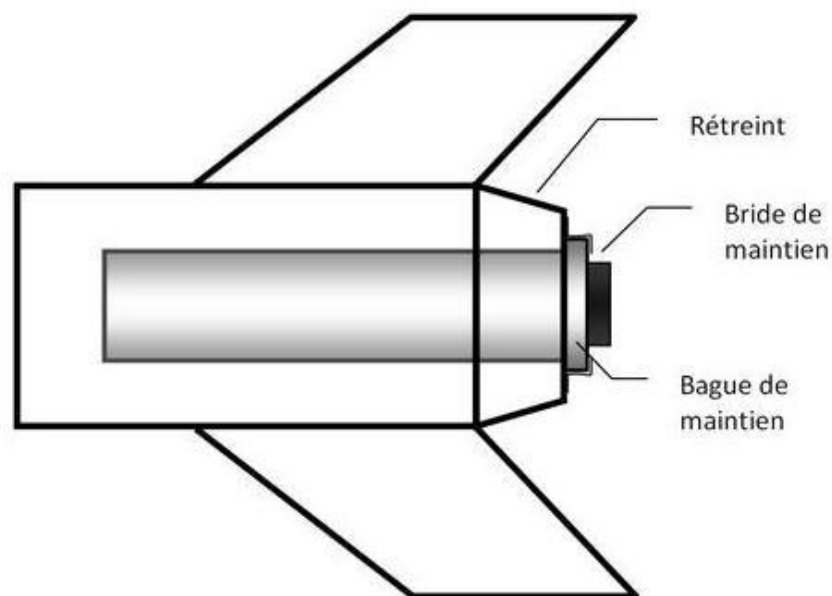


Figure 22: Maintien propulseur

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 23); 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° pour les Pro54 et Pro75).

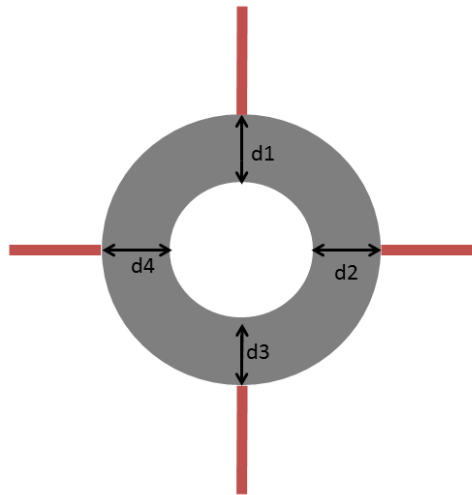


Figure 23: Alignement du propulseur

EXPLICATIONS

CP1, 2 : Pour plus de renseignements, reportez-vous au cahier des propulseurs référence [R6]. Il s'agit d'assurer un assemblage facile et une bonne reprise de la poussée.

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

CP4 : 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.

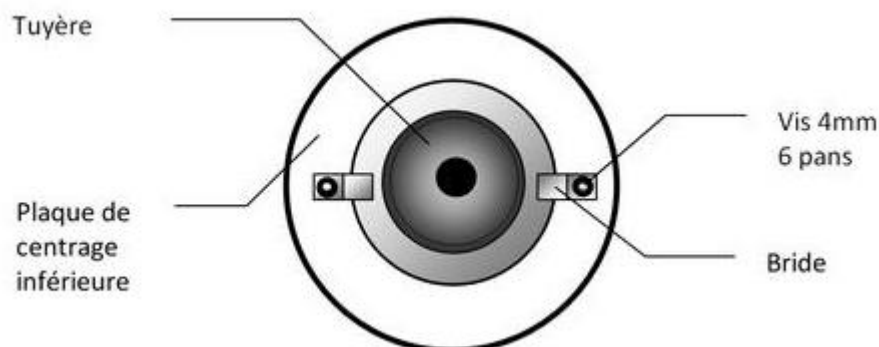


Figure 24: Bride de maintien du propulseur

CP5 : Le propulseur doit pouvoir pousser dans l'axe de la fusée. Le contrôle décrit ne garantit pas un alignement suffisant mais complète le test de flèche (MEC1) et l'ajustement du propulseur (CP2) à ce sujet.

9.3. Chronologie

REGLES

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

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.

CONTROLE

CHRONO1 : Vérification de l'existence de cette chronologie dans le dossier de conception lors des contrôles.

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.

EXPLICATIONS

CHRONO1 : 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 suiveur de PLANETE SCIENCES.

CHRONO2 : Ce vol simulé a pour but de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble du projet, les précédents contrôles étant réalisés à l'échelle des sous-systèmes. Le but est notamment de s'assurer qu'aucun sous-système ne perturbe la récupération.

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 [R8].

Le membre du club désigné pour lire la chronologie ne doit pas effectuer de manipulations sur la fusée.

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 s'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.

Exemple de chronologie					
Temps	Lieu	Opération	Qui	Matériel	V
H-12 H	R3	Recharger les batteries	Paul		
H-2 H	R3	Brancher les batteries	Paul		
H-2 H	R3	Préparer le matériel	Tous		
H-1 H	ZP	Arrivée sur la zone air-sol	Tous		
H-50 min	TC	Opérations en tente clubs (préparation finale de la fusée)	Tous	Tournevis	
H-35 min	TC	Le membre responsable de la télémessure se rend au camion télémessure	Jean		
H-35 min	TC	Les membres du club se rendent sur la zone rampe	Tous sauf Jean		
H-25 min	R	Arrivée des membres en zone rampe	Tous		
H-25 min	R	Photo de groupe	Tous		
H-23 min	R	Mise en rampe de la fusée	Tous		
H-23 min	R	Les membres du club se rendent en zone publique sauf Paul et Valérie	Tous sauf Paul et Valérie		
H-23 min	R	Brancher la prise jack	Valérie	Prise jack	
H-23 min	R	Attache le câble du jack à la rampe sans le tendre	Valérie		
H-22 min	R	Mettre l'interrupteur général sur ON	Valérie		
H-22	R	Vérifier que la LED rouge alimentation générale est	Valérie		

Temps	Lieu	Opération	Qui	Matériel	V
min		allumée			
H-22 min	R	Mettre l'interrupteur expérience sur ON	Valérie		
H-22 min	R	Vérifier que la LED verte alimentation expérience est allumée	Valérie		
H-21 min	R	Demander l'autorisation d'allumer la télémessure	Paul		
H-21 min	R	Mettre l'interrupteur porteuse télémessure sur ON	Valérie		
H-21 min	R	Demander confirmation réception de la porteuse	Paul		
H-20 min	R	Demander l'autorisation d'allumer la modulation	Paul		
H-20 min	R	Mettre l'interrupteur modulation télémessure sur ON	Valérie		
H-20 min	R	Demander confirmation réception de la modulation	Paul		
H-19 min	R	Eriger la rampe	Paul et Valérie		
H-15 min	R	Attacher la clef Allen sur l'aileron	Valérie	Clef Allen, ruban adhésif	
H-15 min	R	Se rendre au pupitre de tir	Paul et Valérie		
H-10 min	P	Arrivée au pupitre de tir	Paul et Valérie		
H-10 min	R	Opération pyrotechnique	Pyrotechniciens		

Temps	Lieu	Opération	Qui	Matériel	V
H-2 min	P	Retour des pyrotechniciens au pupitre	Pyrotechniciens		
H-1 min	P	Décompte			
H-0 min	P	Mise à feu	Valérie		

TC = Tente Clubs, R = zone rampe, P = pupitre de tir, ZP = zone publique

Cette page est laissée volontairement vide

10. Contrôle de roulis

10.1. Démarche

Un contrôle du roulis est un projet ambitieux qui doit être conduit par une équipe motivée tout au long de l'année. L'équipe doit être la plus minutieuse possible.

Dans le cadre de cette expérience, il est demandé de réaliser une analyse de sécurité du projet pendant la phase de propulsion. Cette étude permettra en effet de limiter les risques liés à la présence du personnel opérationnel et du public lors du vol du projet.

Dans le cadre d'un tel projet, il est demandé de respecter les règles suivantes. Ces règles ne s'appliquent naturellement pas dans un autre cas mais peuvent servir de modèle à une équipe souhaitant adopter une démarche plus rigoureuse.

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 convainc PLANETE SCIENCES et les contrôleurs du bien-fondé de sa demande.

REGLES

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.

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 en cochant l'option « bi-empennage » et l'option « bi-empennage à ½ masqué » dans l'outil de trajectographie de PLANETE SCIENCES.

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.

ROL1 : Le club doit fournir deux mois après la RCE2 un document synthétisant les différents aspects du projet et explicitant le respect des règles du présent cahier des charges et les dérogations demandées s'il y en a.

ROL2 : Chaque paire d'actionneurs doit être couplée mécaniquement de sorte à ne produire que du roulis.

ROL3 : Le projet doit réaliser une mesure du roulis permettant l'exploitation des résultats à la suite du vol.

CONTROLES

MEC8 : Les contrôles mécaniques décrits sont à appliquer aux deux jeux d'ailerons qui doivent tous les deux réussir ces tests.

STAB6 : 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.

SECU1 : Le club doit démontrer que le système modifiant le roulis ne peut se déclencher en phase propulsée.

ROL1 : Vérification de l'existence d'un document contenant les éléments de justification à ces présentes règles pour la RCE2, et particulièrement des règles ROL2&3.

ROL2 : Il sera vérifié que la conception mécanique du système de contrôle du roulis ne permet en aucun cas d'agir sur les axes de tangage et de lacet de la fusée.

ROL3 : Vérification de l'existence dans le document d'une description du procédé de mesure du roulis.

EXPLICATIONS

ROL1 : Ce dossier rassemblera tous les documents demandés, facilitant ainsi la communication entre les différents acteurs et le suivi du projet.

ROL2 : Un mécanisme irréversible ne commandant que du roulis fiabilisera d'autant plus le système pendant toutes les phases du vol, simplifiant ainsi l'analyse de sécurité demandée.

ROL3 : Une mesure in-situ est nécessaire afin de critiquer les résultats de l'expérience par rapport aux résultats attendus. La formule de Diederich par exemple, utilisée pour estimer le gradient de portance d'un aileron dans l'outil de stabilité et trajectographie, n'est valable que pour des ailerons non gouvernés placés à incidence nulle.

RECOMMANDATIONS

ROL1 : La forme exacte du document demandé est laissée libre, le respect des règles pouvant être montré par exemple au travers d'une matrice de validation comme ci-dessous :

Règle	Type de validation	Statut	Référence
DEF2 : Le club doit prévoir les méthodes d'étalonnage des différentes voies de mesure	Explication (qualitative)	OK	Document projet, Chapitre X paragraphe Y
MES1 : Toutes les voies de mesure doivent être étalonnées	Inspection (pouvant être visuelle)	NOK	Contrôle RCE3 ou C'Space non encore effectué
SEQ3 : Le séquenceur doit avoir la puissance nécessaire pour déclencher le mécanisme de séparation	Test (représentatif des conditions du lancement)	OK	Vol simulé n°Z (vidéo)
REC2 : Le système ralentisseur doit permettre une arrivée au sol à	Analyse (quantitative)	OK	Cf. dimensionnement du ralentisseur, Annexe A.6

moins de 15m/s			
----------------	--	--	--

Il peut s'agir (si disponible et pertinent) d'une vidéo d'essai montrant le fonctionnement du système. Le dossier peut reprendre la structure suivante, que le club est libre d'adapter selon les spécificités de son projet :

Avant-propos

Sommaire

Introduction

Chapitre 1 : Généralités

7. Présentation du club
8. Présentation de l'équipe
9. Caractéristiques principales du projet
10. Financement et partenaires
11. Planification
12. Retours d'expérience de projets précédents

Chapitre 2 : Structure mécanique

4. Généralités
5. Structure de la fusée

Chapitre 3 : Systèmes électroniques embarqués

3. Séquenceur principal
4. Expérience
 - a. Principe de la mesure du roulis
 - b. Loi de pilotage
 - c. Tests

Chapitre 4 : Tenue et contrôles des ailerons

1. Explication du contrôle des ailerons
2. Analyse de risques

Annexes

Annexe 1 : Schémas électroniques

Annexe 2 : Plans mécaniques

Il est recommandé d'inclure tous les éléments disponibles à la date de la rédaction du dossier, ceci permettant de faciliter le suivi lors des RCE et d'en maximiser l'effet. Il

est cependant attendu au minimum la justification des règles courantes du cahier des charges ainsi que les éléments demandés dans le cas d'un contrôle en roulis.

Le sommaire doit quant à lui permettre de trouver facilement les éléments demandés aux règles SECU1 et ROL2 et 3.

ROL2 : Pour le cas « classique » où il y a deux empennages, un premier « fixe » chargé de stabiliser la fusée et un second en canard, chargé de commander le roulis, il est possible de monter le jeu d'ailerons fixe sur roulements à billes dans l'axe longitudinal de la fusée, afin d'éliminer toute possibilité qu'il n'induisse de roulis (potentiellement en sens inverse de celui qui sera commandé !).

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 il 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 !

11. Vol supersonique ou transsonique

11.1. Démarche

Une fusée supersonique ou transsonique est un projet ambitieux qui doit être conduit par une équipe motivée tout au long de l'année. L'équipe doit être la plus minutieuse possible.

Les vols transsoniques et supersoniques impliquant des conditions de vol très différentes d'un vol classique, il est notamment demandé à l'équipe de justifier la stabilité de la fusée tout au long du vol.

Dans le cadre d'un tel projet, c'est-à-dire tout projet dépassant Mach 0.8, il est demandé de respecter les règles suivantes. Ces règles ne s'appliquent naturellement pas dans le cas d'un vol subsonique mais peuvent servir de modèle à une équipe souhaitant adopter une démarche plus rigoureuse.

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 convainc PLANETE SCIENCES et les contrôleurs du bien-fondé de sa demande.

REGLES

SUP1 : Toute fusée ayant un nombre de Mach supérieur à 0.8 pendant une durée supérieure à 1 seconde devra respecter les règles ci-après.

SUP2 : Le club doit fournir un document prouvant que l'expérience ne peut être menée que dans un régime supersonique ou transsonique deux mois après la RCE1.

SUP3 : Le club doit fournir pour la RCE2 un document synthétisant les différents aspects du projet, explicitant le respect des règles du présent cahier des charges et une analyse de la stabilité pendant toutes les phases du vol basé sur une géométrie désormais figée.

SUP4 : Le club doit disposer d'un moyen de localisation post-vol indépendant de la localisation visuelle depuis le sol.

SUP5 : Les ailerons ou les fixations d'ailerons en matériaux composites sont interdits. On rappelle que la règle MEC3 sera appliquée avec par défaut un coefficient de traînée de 1.

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 télémesures ainsi que la manière dont il va les exploiter, et prévoir les résultats qu'il doit obtenir.

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 m/s^2 ; le produit $0,5 \times$ masse volumique de l'air en kg/m^3 , la surface en m^2 et la vitesse en m/s donnent une force en Newton. Le coefficient de traînée sera pris égal à l'estimation faite par le club ou 1 par défaut.

CONTROLES

SUP1 : Calcul du nombre de Mach à partir de la vitesse maximale calculée grâce à l'outil de trajectographie de PLANETE SCIENCES.

SUP2 : Vérification de l'existence d'un document justifiant le besoin d'un vol en régime supersonique ou transsonique pour l'expérience deux mois après la RCE1.

SUP3 : Vérification de l'existence d'un document décrivant la géométrie de la fusée deux mois après la RCE2 ; vérification lors des contrôles précédant le lancement que la géométrie prévue a été respectée. Il sera également vérifié que la stabilité a été étudiée par le club pendant toutes les phases du vol, basée sur cette même géométrie. Le réalisme du principe de la mesure de vitesse sera enfin vérifié.

SUP4 : Vérification lors des contrôles de la présence et du fonctionnement du système de localisation de la fusée.

SUP5 : Vérification lors des contrôles que les ailerons et/ou les fixations d'ailerons ne sont pas en matériau composite.

EXPLICATIONS

SUP1 : Les présentes règles ont besoin d'un domaine dans lequel s'appliquer.

SUP2 : Le vol supersonique ou transsonique ne doit pas être une fin en soi mais le moyen de réaliser une expérience. Ceci doit être vérifié tôt dans l'année pour ne pas gaspiller de ressources inutilement.

SUP3 : L'analyse de stabilité sera réalisée indépendamment par le CNES. Le projet étant alors assuré d'être stable par deux acteurs indépendants (le club et le CNES), il pourra être lancé, sous la condition naturelle que la fusée réalisée soit conforme aux dimensions annoncées lors de sa conception. Ces calculs étant chronophages, il est nécessaire de connaître la géométrie de la fusée bien en amont de la campagne de lancement. Ce dossier rassemblera tous les documents demandés, facilitant ainsi la communication entre les différents acteurs et le suivi du projet.

Le vol en régime transsonique ou supersonique implique de grandes différences dans l'écoulement rencontré par la fusée ainsi que dans son propre coefficient de traînée. Il est donc important que ces propriétés aient été étudiées par l'équipe afin d'assurer un vol stable.

SUP4 : Les projets de ce type sont très difficiles à retrouver. Il est donc nécessaire de disposer d'un système de localisation précis et fiable.

SUP5 : Aucun contrôle suffisamment simple ne permet de garantir la résistance des ailerons composites au passage du Mach. Pour toute demande de dérogation, utiliser le formulaire référence [R7].

RECOMMANDATIONS

SUP1 : Si votre projet s'avère dépasser Mach 0.8 alors que cela n'était pas prévu au départ, il est recommandé de choisir un propulseur plus petit, de lester la fusée ou encore d'augmenter la surface de son maître-couple afin de garder un profil de vol cohérent de sa conception.

SUP2 : Il est fortement conseillé de transmettre les données par télémesure afin d'en disposer si la fusée n'est pas retrouvée.

SUP3 : La forme exacte du document demandé est laissée libre, le respect des règles pouvant être montré par exemple au travers d'une matrice de validation comme ci-dessous :

Règle	Type de validation	Statut	Référence
DEF2 : Le club doit prévoir les méthodes d'étalonnage des différentes voies de	Explication (qualitative)	OK	Document projet, Chapitre X paragraphe Y

mesure			
MES1 : Toutes les voies de mesure doivent être étalonnées	Inspection (pouvant être visuelle)	NOK	Contrôle RCE3 ou C'Space non encore effectué
SEQ3 : Le séquenceur doit avoir la puissance nécessaire pour déclencher le mécanisme de séparation	Test (représentatif des conditions du lancement)	OK	Vol simulé n°Z (vidéo)
REC2 : Le système ralentisseur doit permettre une arrivée au sol à moins de 15m/s	Analyse (quantitative)	OK	Cf. dimensionnement du ralentisseur, Annexe A.6

Il est recommandé d'inclure tous les éléments disponibles à la date de la rédaction du dossier, ceci permettant de faciliter le suivi lors des RCE et d'en maximiser l'effet. Il est cependant attendu au minimum la justification des règles courantes du cahier des charges ainsi que les éléments demandés dans le cas des vols supersoniques.

Le sommaire doit quant à lui permettre de trouver facilement les éléments demandés aux règles SUP1, 2, 4, 5 et METH4.

SUP4 : Il est fortement recommandé de s'appuyer sur un système par géolocalisation.

METH4 : L'expérience portant sur le paramètre-clé de la vitesse air, il est fortement recommandé de suivre l'évolution de sa valeur aux différents stades de conception puis à la mesure effectuée pendant le vol.

Le dossier peut reprendre la structure suivante, que le club est libre d'adapter selon les spécificités de son projet :

Avant-propos

Sommaire

Introduction

Chapitre 1 : Généralités

1. Présentation du club
2. Présentation de l'équipe
3. Caractéristiques principales du projet
4. Financement et partenaires
5. Planification
6. Retours d'expériences de précédents projets

Chapitre 2 : Structure mécanique

1. Généralités
2. Structure de la fusée

Chapitre 3 : Systèmes électroniques embarqués

1. Séquenceur principal
2. Expérience

Chapitre 4 : Aérodynamique et stabilité

1. Stabilité de la fusée en subsonique
2. Stabilité de la fusée en transsonique/supersonique
3. Dimensionnement parachute

Annexes

Annexe 1 : Schémas électroniques

Annexe 2 : Plans mécaniques

Annexe 3 : Trajectographie

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 il 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 !

Cette page est laissée volontairement vide

12. Réutilisation

12.1. Démarche

Les fusées réutilisées sont celles qui ont déjà volé et subi les contraintes d'un vol propulsé.

Dans le cadre d'un tel projet, il est demandé de respecter les règles suivantes. Ces règles ne s'appliquent naturellement pas dans le cas d'une fusée dont c'est le premier vol et donc aucune réutilisation n'est prévue par la suite.

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 convainc PLANETE SCIENCES et les contrôleurs du bien-fondé de sa demande.

REGLES

RET1 : Le club doit fournir un document deux mois après la RCE1 prouvant que l'expérience n'a d'intérêt que si elle est répétée ou utilise un vecteur réutilisé.

RET2 : La fusée doit respecter toutes les règles du présent cahier des charges à chaque lancement. Ces règles doivent être respectées de la même façon que pour son vol précédent, sans dérogation supplémentaire ni extension des limites des éventuelles dérogations déjà établies.

CONTROLES

RET1 : Vérification de l'existence d'un document prouvant que l'expérience réutilisant la fusée deux mois après la RCE1 n'est intéressante que dans ce contexte.

RET2 : L'intégralité des contrôles doivent être effectués avec une fiche de contrôles vierge pour chaque vol. Par rapport aux contrôles du vol précédent, aucune dérogation supplémentaire ne doit être demandée, et les éventuelles dérogations déjà établies doivent être tenues dans les mêmes limites. Un nouveau vol simulé doit être effectué à l'issue des autres contrôles.

EXPLICATIONS

RET1 : La réutilisation d'une fusée ne doit pas être une fin en soi mais le moyen de réaliser une expérience.

RET2 : Les contrôles n'ont pas été conçus pour s'assurer de la fiabilité d'une fusée au-delà de son premier vol. Il est donc nécessaire de les repasser avant chaque vol. De plus, limiter les dérogations à ce qu'elles étaient au vol précédent permet par exemple de s'assurer qu'aucune pièce ou assemblage n'a subi de déformation irréversible trop significative.

RECOMMANDATIONS

RET1 : La réutilisation d'une fusée, si elle fait écho à l'évolution actuelle des lanceurs, est tout d'abord un risque de perte de compétences au sein du club. C'est pourquoi il est nécessaire que cette réutilisation s'inscrive dans une démarche complète et réfléchie.

RET2: Dans le cadre d'une réutilisation, il est plus que recommandé de s'assurer une bonne transmission des compétences au sein du club en documentant et transmettant les différents stades de la démarche. En-dehors des documents « classiques » (tels que chronologie de lancement et datasheets par exemple), il est recommandé de pister particulièrement la maintenance effectuée entre deux vols et le suivi de la dégradation des sous-systèmes (cartes électroniques par exemple) grâce à la prise de photos d'inspection avant et après les vols. Ceci afin de donner au projet tous les éléments de décisions pour remplacer ou non un sous-système en vue du prochain vol. Un soin particulier au niveau de la plaque de poussée et des fixations des ailerons sera apprécié. Il va de soi que le vol précédent ne peut être que nominal...

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 il 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 !

Cette page est laissée volontairement vide

13. L'exploitation des résultats

REGLE

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

CONTROLE

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 il 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 129 pages précédentes, c'est forcément dedans !!! Il est également possible et même recommander de contacter Planète Sciences.