

DOSSIER DE PROJET

MATRIOCHKA

Version	Date	Auteurs	Destinataires
Originale	22/01/2017	Armelle Frenea-Schmidt Bertrand Bocquet Pierre Gabrielli Valentin Ramajo Corentin Miton Pierre Morin	Planète Sciences CNES
v2	29/05/2017	Arnould Peeris Armelle Frenea-Schmidt	Planète Sciences CNES (RCE3)
v3	08/07/2017	Armelle Frenea-Schmidt Arnould Peeris	Planète Sciences CNES (C'Space)
v4	12/09/2017	Pierre G, Arnould, Baptiste, Francois, Bertrand, Armelle	Planète Sciences CNES - ESO

Matriochkins

MATRIOCHKINS	ROLES	ACTIVITE
Alexandre SAINT ALME	Responsable com'	2014-2015
Angéline JOUASSON	Projet 3A	2014
Armelle FRENEA-SCHMIDT	Chef & Projet 5A - Etude Thermique -Membre Partie Haute Lanceur	2014-2017
Arnould PEERIS	Membre Electronique	2014-2017
Arthur BICHET	Membre Partie Haute Lanceur	2014-2016
Baptiste BARRE	Responsable Qualité & Bras droit du chef	2014-2017
Bastien BURALLO	Membre Electronique	2014-2016
Bertrand BOCQUET	Responsable Reflex & Partie Haute Lanceur	2014-2017
Clément VIREY	Projet 5A - Etude Aérodynamique	2014
Corentin MITON	Responsable Partie Basse Lanceur	2014-2016
Daphnée DARCAUTE	Membre Reflex	2014
Delphine OUVRARD	Membre Electronique	2014-2015
François ANDRUSYSZYN	Responsable usinage & Membre Reflex + Partie Haute Lanceur	2014-2017
Gautier LEBRETON	Projet 3A	2014
Justine TENIL	Membre Electronique & Intégration Electronique	2014-2016
Marc ELMALEY	Projet 5A - Etude Matériaux	2014
Pierre GABRIELLI	Responsable Electronique	2014-2017
Pierre MORIN	Membre puis Responsable Partie Basse Lanceur	2014-2017
Valentin RAMAJO	Membre Partie Basse Lanceur (ailerons lanceur)	2014-2015



Avant-Propos

Ce document a été créé suite à la demande de Planète Sciences, le 18 Janvier 2017.

L'objectif de ce document était de réunir toutes les informations nécessaires à Planète Sciences et au CNES afin de qualifier le projet lors du C'Space 2017. Suite à la campagne de lancement, ce document présente également les résultats du projet.

Notons que de nombreux documents ont déjà été transmis entre 2014 et 2017 :

- Dossier technique sur le design mécanique et électronique de Matriochka mis à jour à chaque RCE entre 2014 et 2016
- Dossier de Sécurité, mis à jour également à chaque RCE entre 2014 et 2016
- Dossier de justification ailerons (nous n'avons jamais eu aucun retour sur ce dossier alors qu'il a été transmis pour la RCE3 de 2016)
- Excel de suivi de projet Planète Sciences
- Stab Traj
- Chronologie de Vol
- Vidéos des tests de récupération et de séparation second étage (tests également réalisés lors de la campagne de lancement en 2016)

Les membres du projet souhaitent particulièrement remercier Romain Boré pour son suivi, son soutien et ses conseils depuis le début de Matriochka.

Nous remercions également Jérôme Hamm qui a partagé notre enthousiasme durant le C'Space 2016. Merci pour tes conseils et ton soutien.

Nous remercions également Alexandre Simon qui a toujours insisté pour que le CNES vienne à notre rencontre lors des RCE. Et merci à Amandine Gueurce qui nous a représenté lors des réunions avec le CNES.

Merci à Elodie et au MESS Bar de Tarbes qui ont dû remplacer les m&m's de Hilda et nous en avons besoin !

Merci aux bénévoles Planète Sciences qui nous ont décerné le Prix Planète Sciences lors du C'Space, nous en sommes extrêmement fiers !

Un grand merci également à nos partenaires et à tous ceux qui ont rendu ce projet possible.



Sommaire

Matriochkins	2
Avant-Propos	3
Sommaire	4
Liste des abréviations.....	9
Liste des figures	10
Introduction	12
Chapitre 1 : Généralités	13
1. Présentation du club	13
2. Genèse du projet.....	14
3. Présentation des objectifs	15
4. Présentation de l'équipe.....	15
Chapitre 2 : Exigences	16
1. Exigences du cahier des charges fusex pour le lanceur Stimulus	16
2. Exigences supplémentaires pour le lanceur Stimulus.....	16
3. Cahier des charges minifusée	17
4. Exigences supplémentaires pour la minifusée Reflex.....	17
Chapitre 3 : Gestion de Projet.....	18
1. Work Breakdown Structure	18
2. Planning.....	19
2.1. Planning Prévisionnel (2014-2016)	19
2.2. Planning 2017 (reconduite du projet).....	19
3. Financement & Partenaires	22
3.1. Bilan financier (au 04/07/2017)	22
3.2. Partenaires et Sponsors	22
4. Communication.....	23
4.1. Communication digitale	23
4.2. IAC 2016	23
5. Ressources	26
5.1. Equipe & Compétences.....	26
5.2. Moyens.....	27
Chapitre 4 : Analyse de Sécurité	28



1.	Analyse Préliminaire des Risques (APR).....	28
1.1.	Identification du système.....	28
1.2.	Définition des critères.....	28
2.	Présentation des modes de défaillance par phase	30
3.	AMDEC	31
3.1.	Tableau 1 : Analyse des modes de défaillances par carte en cas de simple panne.....	31
3.2.	Tableau 2 : Analyse des modes de défaillances par phase	32
3.3.	Tableau 3 : Analyse des cas de double pannes	32
3.4.	Conclusion de l'analyse de sécurité	33
Chapitre 5 : Conception Mécanique		34
1.	Structure du lanceur (1 ^{er} étage).....	35
1.1.	Ogive et intégration Reflex	35
1.2.	Etagé thermique séparation « chaude ».....	36
1.3.	Récupération du lanceur.....	38
1.4.	Case Propulseur	39
1.5.	Fixation des ailerons lanceur	40
2.	Stabilité du lanceur (1 ^{er} étage).....	42
2.1.	Cahier des Charges.....	42
2.2.	Solution technique	42
3.	Structure de Reflex (deuxième étage)	49
3.1.	Partie haute : Ogive et tube supérieur	49
3.2.	Partie basse : Système de récupération.....	49
3.3.	Partie basse : intégration cariacou et fixations ailerons	52
4.	Stabilité de Reflex (2 nd étage)	53
4.1.	Empennage classique de <i>Reflex</i>	53
4.2.	Empennage annulaire de <i>Reflex</i>	53
5.	Stabilité de l'ensemble haut & bas	54
6.	Système de séparation.....	54
Chapitre 6 : Systèmes électroniques.....		56
1.	Carte de Récupération Lanceur	56
2.	Carte de Récupération Reflex	57
3.	Carte de Mise à Feu (MAF).....	59
3.1.	Barrière 1 : ON / OFF.....	59
3.2.	Barrière 2 : Ordre de mise à feu.....	60



3.3.	Barrière 3 : Armement	63
3.4.	Barrière 4 : Shunt Pyro	65
3.5.	Synthèse	66
4.	Alimentation des cartes	67
5.	Chaîne de télémesure	67
6.	Interfaces et CEM.....	68
6.1.	Interfaces Reflex / Opérateur	68
6.2.	Interfaces Reflex / Lanceur	69
6.3.	Interfaces Lanceur / Opérateur	70
Chapitre 7 : Conception logiciel		74
1.	Hardwares.....	74
2.	Algorithmes.....	75
2.1.	Repère	75
2.2.	Vérification d'attitude.....	76
2.3.	Intégrale de poussée.....	77
3.	Essais en vol	80
3.1.	Plateforme d'expérimentation du club.....	80
3.2.	Résultats des essais.....	81
3.3.	Problèmes constatés et solutions trouvées.....	83
4.	Trajectographie.....	84
5.	Conclusion.....	85
Chapitre 8 : Tests & Validation		86
1.	Matrice de Validation - Stimulus.....	86
2.	Matrice de Validation - Reflex.....	94
3.	Registre des Tests	96
3.1.	Tests Stimulus	96
3.2.	Tests Minifusée	97
3.3.	Vol Simulés.....	97
Chapitre 9 : Campagne de Lancement.....		98
1.	Préparation Campagne	98
1.1.	Liste outillage et composants à emporter au C'Space.....	98
1.2.	Liste des tâches avant de partir au C'Space.....	98
2.	Pendant la campagne de lancement	99
3.	Chronologie de J-1 à H0	100



4. Séquentiel de vol.....	103
Chapitre 10 : Analyse post lancement	106
1. Rappel des objectifs	106
2. Résultat	107
3. Analyse des vidéos	108
3.1. Vol Stimulus	108
3.2. Vol Reflex	109
3. Analyse de courbes de vol - Stimulus	110
4. Analyse de la campagne de lancement.....	113
4.1. Contrôles fusex	113
4.2. Contrôles minif.....	114
4.3. Vols simulés.....	115
4.4. Chronologie.....	115
4.5. Vol	116
4.6. Récupération.....	117
Conclusion.....	118
Annexes.....	119
Annexe 1 : Schémas électroniques	119
Annexe 2 : Plans mécaniques.....	122
Annexe 3 : Détail des procédures de l'analyse par phase/zone :	132
Annexe 3.1. AMDEC par carte.....	132
Annexe 3.2. AMDEC par phases.....	141
Annexe 3.3. Doubles pannes.....	150
Annexe 4 : Stab / Traj.....	154
Annexe 5 : Etude Thermique (Janvier 2015).....	155
Environnement en sortie de tuyère du Cariacou.....	155
A.1. Caractéristiques du moteur	155
A.2. Composition chimique.....	155
A.3. Données en sortie de tuyère	156
Présentation des architectures « séparation chaude »	157
B.1. Configuration « treillis »	157
B.2. Configuration « fermée ».....	161
B.3. Configuration « compromis »	162
Etudes & Modélisations	163



C.1. Choix des matériaux.....	163
C.2. Etude de l'écoulement en sortie de tuyère et évolution de la température	168
Bilan de l'étude & Conclusion	175
Annexe 7 : Tentative de dimensionnement par Computational Fluid Dynamics (CFD - logiciel Ansys Fluent)	177
Annexe 8 : Script trajectographie Matlab et programme de vol Arduino	179
Annexe 9 : Rapports d'étonnement.....	188
✎ François Andrusyszyn.....	188
✎ Baptiste Barré	191
✎ Arnould Peeris.....	193
✎ Pierre Gabrielli	194
✎ Bertrand Bocquet.....	196
✎ Armelle Frenea-Schmidt	197



Liste des abréviations

CEM : compatibilité électromagnétique

CNES : Centre National d'Etudes Spatiales

CU : charge utile (désigne le second étage, la minifusée Reflex)

DEL : diode électroluminescente

ECSS : European Cooperation for Space Standardisation

MAF : mise à feu, implicitement du propulseur Cariatou du second étage (désigne la carte électronique remplissant cette fonction)

MEO : mise en œuvre

PIC : microcontrôleur

RCE : Réunion Clubs Espace, Planète Sciences en organise 3 (RCE1, RCE2, RCE3) au cours d'une année scolaire. Leurs rôles est de faciliter le suivi des projets.



Liste des figures

Figure 1 Décollage minifusée Miss Paramount (2014)	13
Figure 2 Fusée Florizar en rampe (2013)	13
Figure 3 Minifusée Reflex	14
Figure 4 Equipe Matriochka au C'Space 2016.....	15
Figure 5 Planning 2014-2016	19
Figure 6 Matriochkins 2016	26
Figure 7 Etage Charge Utile.....	34
Figure 8: Architecture générale lanceur	34
Figure 9 Ouverture Ogive.....	35
Figure 10 Rail Reflex.....	36
Figure 11 Architecture de l'étage thermique.....	36
Figure 12 Case Parachute assemblée	38
Figure 13 Case Parachute.....	38
Figure 14 Domino de verrouillage Pro 54 (écrou papillon).....	39
Figure 15 Nouveau culot aérodynamique	39
Figure 16 Rail de fixation / réglage ailerons	40
Figure 17 Bague de fixation / réglage ailerons	40
Figure 18 Système de fixation ailerons lanceur	41
Figure 19 Extrait de StabTraj. Les 2 feuilles affichent Stable.....	43
Figure 20 Profil HT08-il	43
Figure 21 Profil NACA 0009-sm.....	44
Figure 22 Graphe obtenu à partir des données du tableau précédent	45
Figure 23 : le pôle aileron au Fab Shop.....	46
Figure 24 1er test de drapage de fibre de carbone autour d'un profilé en plastique	46
Figure 25 Ailerons profilés imprimés 3D et leurs bagues de fixation	47
Figure 26 Position des ailerons le long du lanceur	48
Figure 27 Tracker GPS	49
Figure 28 Intégration de la caméra Reflex.....	49
Figure 29 Reflex - Séparation à Billes.....	50
Figure 30 Bague poussée avec une partie des fixations ailerons	52
Figure 31 Partie classique de l'empennage	52
Figure 32 Partie annulaire de l'empennage.....	52
Figure 33 Capture d'écran du Stabilito de l'empennage classique.....	53
Figure 34 Carte de Récupération Lanceur	56
Figure 35 Carte de Récupération Reflex	57
Figure 36 Alimentation MAF	67
Figure 37 Connecteur VGA.....	71
Figure 38 Connecteur XT60.....	71
Figure 39 Connecteur JST.....	71
Figure 40 : Connecteur WAGO.....	72
Figure 41 Fusée à eau de l'ESO - 2017	80
Figure 42 Analyse des résultats d'essais en vol	82



Figure 43 Analyse des résultats d’essais en vol (2).....	83
Figure 44 Trajectographie - Essai en vol	84
Figure 45 Trajectographie 3D - Essai en vol.....	85
Figure 46 Scénario de Vol Nominal.....	103
Figure 47 Séquentiel de Vol Nominal.....	105
Figure 48 Double nominal !.....	107
Figure 49 Récupération Stimulus (1).....	117
Figure 50 Récupération Stimulus (2).....	117
Figure 51 Récupération Reflex.....	117
Figure 52 Récupération Lanceur – Schéma.....	119
Figure 53 Récupération Lanceur - Photo	119
Figure 54 Récupération Lanceur - Routage.....	119
Figure 55 Récupération Reflex - Schéma	120
Figure 56 Récupération Reflex - Photo	120
Figure 57 Mise à Feu – Schéma.....	121
Figure 58 Mise à Feu - Routage.....	121



Introduction

Le projet *Matriochka* est né dans l'esprit de deux esociens en 2014 qui furent rejoints par l'équipe de la minifusée *Miss Paramount* ; vol nominal lors du C'Space de cette même année. *Matriochka* est une fusée bi-étage dont le second étage est une minifusée. La séparation est rendue possible grâce à la poussée du moteur de cette dernière, le Cariatou. Ce système dit de « séparation chaude » est une configuration n'ayant encore jamais été testée. Ce projet ambitieux fut initié sur deux ans mais a dû être reconduit à la suite du C'Space 2016 ; la carte de mise à feu n'ayant pas été qualifiée par le CNES.

Matriochka est un projet conçu en serious game dans la mesure où l'équipe a adapté les grandes lignes de conduites du système ECSS dans un contexte étudiant. La première année ayant été dédiée aux phases de conception, le projet a été intégré pleinement dans le cursus ESTACA. Cinq projets intégrés ont ainsi été réalisés durant l'année scolaire 2014-2015 : un projet de fin d'études de la filière Espace couvrant trois pôles : les structure & matériaux pour le dimensionnement de la structure du lanceur, l'analyse aérodynamique pour évaluer le Cx du lanceur dans le cadre de plusieurs configurations d'ailerons et d'ogive ainsi qu'une étude thermique pour la conception de la « séparation chaude ». Deux projets de Processus d'Ingénierie Appliquée ont également été réalisés par des troisièmes années notamment pour le système de récupération du lanceur. Enfin, une étude AMDEC de la séparation de la minifusée Reflex a été encadrée par Assystem, ingénieurs spécialisés en sûreté de fonctionnement. Et enfin, un projet informatique réalisé par les 2A.

La seconde année a été tournée vers la réalisation et les tests jusqu'à la campagne de lancement de 2016. La troisième année enfin, est une extension qui s'est vue dédiée à la maintenance du lanceur et du second étage, à l'ultime validation de la stabilité lanceur mais surtout à la maîtrise de la carte de mise à feu. Une année de plus qui fut également l'opportunité d'améliorer la case électronique pour fiabiliser les systèmes embarqués.



Chapitre 1 : Généralités

1. Présentation du club



L'ESO (ESTACA Space Odyssey) est une association loi 1901 dont l'objectif est de promouvoir l'activité aérospatiale au sein de l'école et du grand public. Elle y parvient en réalisant, notamment, la conception, la fabrication et le lancement de fusées ou de ballons expérimentaux, grâce à l'encadrement du CNES et de Planète-sciences.

L'association a réalisé une trentaine de fusées et de ballons depuis sa fondation en 1991. Elle compte aujourd'hui plus de 70 membres, tous étudiants à l'ESTACA, travaillant sur plusieurs projets et repartis sur les deux sites de l'école: Levallois Perret et Laval. L'activité principale de l'association consiste en la réalisation de minifusées et de fusées expérimentales.

Les **minifusées**, d'une taille relativement réduite (environ 1m), ont pour objectif d'élaborer un système de récupération de la fusée à l'aide d'un système ralentisseur déclenché peu avant l'apogée. Elles sont donc parfaitement adaptées à la formation des nouveaux membres mais peuvent également permettre de valider une nouvelle séparation ou un nouveau concept aérodynamique.



Figure 1 Décollage minifusée Miss Paramount (2014)



Figure 2 Fusée Florizar en rampe (2013)

Les **fusées expérimentales** sont, quant à elles, beaucoup plus complexes. Il s'agit d'intégrer une expérience à bord électronique ou mécanique (par exemple : mesure de vitesse, de contraintes, trajectographie de la fusée, système antiroulis...). Les données des différents capteurs doivent être récupérées : soit en étant enregistrées à bord, soit par transmission en temps réel par télémesure analogique ou numérique, imposant à l'équipe la conception d'une modulation de fréquence. Ces fusées d'environ 2m de hauteur peuvent atteindre 1800m d'altitude et la vitesse de 800km/h.

A l'ESO, nous réalisons nous-mêmes l'intégralité de la fusée, que ce soit la structure mécanique (pièces en aluminium usinées à l'ESTACA, réalisation des étages en composite) ou les cartes électroniques (routage, gravure, soudure). Seul le propulseur est fourni par le CNES pour des raisons de sécurité et de législation (la manipulation d'explosifs par des amateurs est interdite en France).

L'association a également réalisé 2 projets OG. Le siège CAOS et ORIMAX. Le but d'ORIMAX était de réaliser un contrôle inertiel. Elle consistait à reproduire les mouvements de rotation d'un satellite

autour de ses axes en modélisant celui-ci par une sphère de 60 cm de diamètre contrôlée électroniquement. CAOS pour *Cosmonaut Orientation Assistance System* est une réplique de siège d'astronaute. L'expérience avait pour but de démontrer la possibilité pour des étudiants de réaliser un système complexe similaire (en fonction) à des systèmes existant dans l'industrie aérospatiale aujourd'hui.

C'est donc dans la lignée de ces projets spéciaux que se place aujourd'hui *Matriochka*.

2. Genèse du projet

Matriochka est une fusée expérimentale bi-étage de 2.95m de haut pour un diamètre de 143mm qui s'inscrit dans la lignée des fusées « Belle », « Courage » et « La Bi » de l'ESO. La différence, c'est que le second étage est une minifusée ! En effet, *Matriochka* est surtout un lanceur qui emportera une charge utile, en l'occurrence pour le premier vol, la minifusée « Reflex ». Reflex est d'ailleurs un projet singulier puisque datant de 2006, elle était vouée à voler comme les minifusées traditionnelles puis elle a été adaptée pour être aérolarguée via l'avion d'aéromodélisme Damoclès puis Cyrano du projet *Styx*. La fin de cette aventure laissa Reflex en 2014, modifiée comme jamais une fusée ne l'a été et vouée à finalement voler comme n'importe quelle minifusée. Jusqu'à ce que l'idée d'une fusée bi-étage « poupée russe » n'intervienne... L'histoire de Reflex continue donc avec les Matriochkins qui lui promettent d'enfin voir le ciel !



Figure 3 Minifusée Reflex

La poussée du Cariatou sera utilisée afin de séparer la minifusée. Une solution alternative de séparation « froide », plus classique, a été étudiée jusqu'en janvier 2015. Cette dernière a fait l'objet d'une étude approfondie notamment en sûreté de fonctionnement. C'est cette étude qui a permis de finalement choisir la solution la plus sécuritaire et la plus fiable soit la séparation « chaude ». La séparation froide, de par ses nombreux mécanismes présentait de forts désagréments, plus de risques de pannes et/ou de non disponibilité du système. La masse critique de cette dernière a également contribué à son abandon. La séparation « chaude » est également plus innovante. Si le lanceur Stimulus, emporte aujourd'hui Reflex, le but était de le créer standardisé afin de pouvoir embarquer d'autres minifusées dès 2018 ! Il serait ainsi possible d'offrir le transport de minifusées à d'autres clubs qui n'ont pas forcément de fusées expérimentales et qui pourtant souhaitent atteindre des altitudes significatives tout en se formant à la fuséologie. Le projet s'est donc imaginé autour d'une philosophie de réutilisation.

Notons aussi que *Matriochka* repose sur 3 anciens projets : *Miss Paramount* qui a permis de former le noyau dur de l'équipe ainsi que *Florizar* et *Doppelgänger* qui ont permis de tester le système d'ouverture ogivale.

3. Présentation des objectifs

OBJECTIF 1 : L'objectif principal du projet Matriochka est d'offrir le transport de minifusées à d'autres clubs qui n'ont pas forcément de fusées expérimentales et qui pourtant souhaiteraient atteindre des altitudes significatives tout en se formant à la fuséologie.

OBJECTIF 2 : La réalisation d'un lanceur étant cependant onéreuse, le second objectif du projet est de réaliser un lanceur réutilisable.

4. Présentation de l'équipe

Le projet a débuté avec l'idée de travailler avec 10 ou 12 membres. Le recrutement s'est cependant avéré beaucoup plus efficace que prévu puisque Matriochka a comporté jusqu'à 18 membres lors de la phase de conception ! Un nombre important qui changea radicalement la méthode de gestion de groupe et qui devint un véritable exercice de management.

La dimension humaine d'un projet est un point fondamental puisque c'est à travers la motivation que chacun donne de son temps (puisque associatif) et de ses compétences. Le rôle du responsable de projet est aussi de garantir le bien-être de ces membres en les connaissant et en les suivant. La compréhension découle de la communication et avec 18 personnes à gérer, elle a pris une place d'honneur à chaque instant. Bien que certaines tensions aient pu apparaître lors de la phase de réalisation, le groupe a toujours été ouvert à la discussion offrant l'opportunité à chacun de s'exprimer et donc de mettre à plat les malentendus. Deuxièmement, ce projet étant sur une longue durée, il était nécessaire de faciliter la transmission des données en cas de reprise du projet par une autre équipe. Autant d'éléments qui ont façonnés le management de *Matriochka*.

L'extension du projet d'une année supplémentaire a été complexe à gérer car les plus jeunes membres sont partis sur d'autres projets au vu du peu de travail qu'il restait à réaliser. Pour les derniers braves, étant soit des dernières années soit des diplômés, il a fallu gérer les départs à l'étranger, les immersions ou encore la vie professionnelle. L'ESTACA étant fermée désormais les week-ends, rien n'a facilité la tâche cette dernière année. Seule la motivation des derniers Matriochkins a permis de faire aboutir le projet.



Figure 4 Equipe Matriochka au C'Space 2016

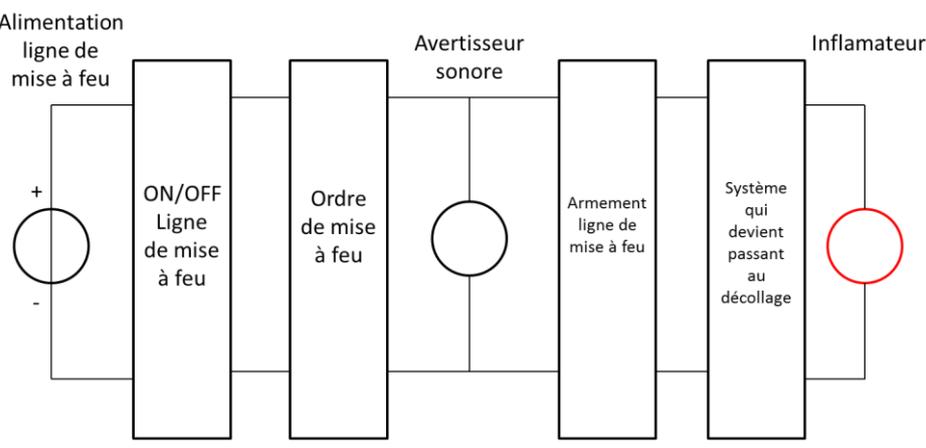
Chapitre 2 : Exigences

NOTA : Lors de la conception et de la réalisation du projet, aucun cahier des charges pour fusée expérimentale bi-étage n'est disponible. L'équipe a donc tenté de combler le manque d'exigences de la part du CNES en cherchant les spécifications nécessaires. Ces exigences sont donc dites «supplémentaires» par rapport au cahier des charges pour fusée expérimentale mono-étage.

1. Exigences du cahier des charges fusex pour le lanceur Stimulus

Cf. Cahier des Charges Fusex

2. Exigences supplémentaires pour le lanceur Stimulus

Références	Exigences
ST01	Le lanceur Stimulus doit être remis en l'état de vol en moins de 1 mois après un lancement
ST02	Le lanceur Stimulus doit être remis en état de vol pour un coût inférieur à 10% de son coût de fabrication
ST03	Le lanceur Stimulus doit pouvoir emporter des minifusées usuelles
ST04	Le lanceur Stimulus doit pouvoir s'adapter à la minifusée emportée selon les paramètres de masse et de centre de gravité de cette dernière
ST05	Le parachute lanceur doit pouvoir récupérer le lanceur à vide ou le lanceur + la minifusée à une vitesse comprise entre 5 et 15 m/s
ST06	Le lanceur Stimulus doit assurer la mise à feu de la minifusée
ST07	La mise à feu de la minifusée doit être autorisée si et seulement les conditions de sécurité sont réunies (cf. analyse de sûreté de fonctionnement au Chapitre 4)
MAF01	<p>La mise à feu doit être conforme au schéma suivant :</p>  <p>➤ Chaque rectangle empêche le courant de passer sur chaque fil ! ➤ L'avertisseur sonore permet de détecter tout dysfonctionnement de l'électronique qui autorise l'allumage du deuxième étage ➤ L'inflamateur doit pouvoir se raccorder à la ligne de mise à feu avec des gants de pyrotechnicien (éviter les connecteurs à visser)</p>
MAF02	<p>La carte de mise à feu doit permettre de faire passer 4A à l'inflamateur (En attente de confirmation du CNES, s'agit-il d'un infla moyenne énergie ?) Rint = 1Ω 4A pendant 15 à 30 ms pour détoner</p>

	<p>Norme MIL I23659 http://www.dassault-aviation.com/fr/espace/produits-pyrotechniques/initiateurs/ http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-23659E_8994/ Information donnée le 09/05/2017 grâce à Bertrand Bocquet (Stagiaire au CNES Daumesnil et membre de l'équipe Matriochka) par l'intermédiaire de Bourenane Kherrmane (Pla Sci) – Information communiquée 3 ans après le début du projet</p>
MAF03	La carte de mise à feu doit comporter un shunt pyro qui court-circuite l'inflamateur
MAF04	La carte de mise à feu doit comporter un interrupteur pyro qui coupe à la fois la ligne d'alimentation du circuit de mise à feu et la masse
MAF05	L'alimentation du circuit de mise à feu doit être indépendante du reste de la carte

3. Cahier des charges minifusée

Cf. Cahier des Charges Minif

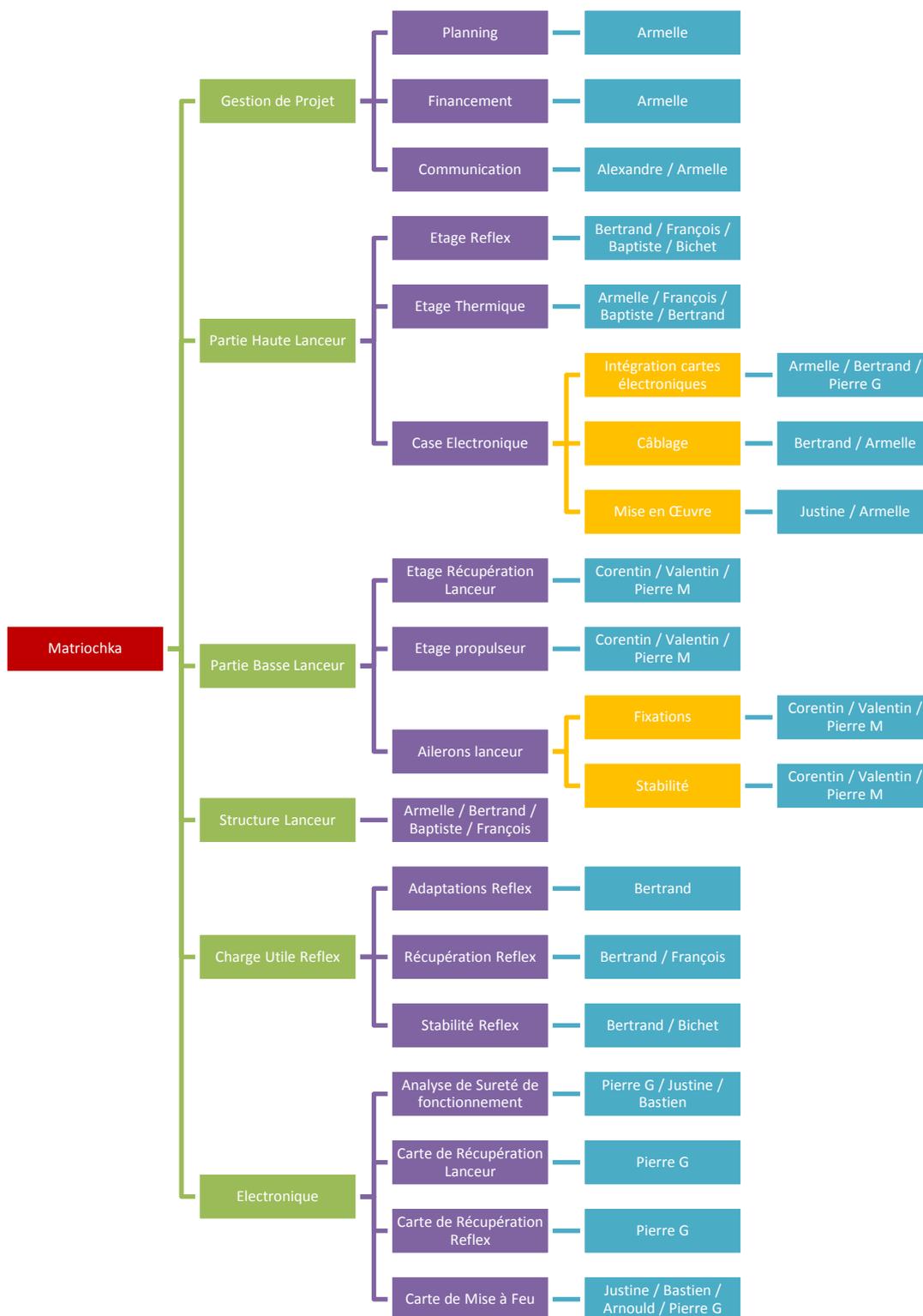
4. Exigences supplémentaires pour la minifusée Reflex

Références	Exigences
RX01	La minifusée Reflex doit s'insérer dans le tube lanceur de 140 mm de diamètre interne
RX02	La minifusée Reflex doit pouvoir survivre à l'ambiance générée par le Pro 54 du lanceur
RX03	L'état de la minifusée Reflex doit être connu durant les opérations en rampe
RX04	Les axes longitudinaux de Reflex et du lanceur doivent être confondus lors du largage de Reflex



Chapitre 3 : Gestion de Projet

1. Work Breakdown Structure



2. Planning

2.1. Planning Prévisionnel (2014-2016)

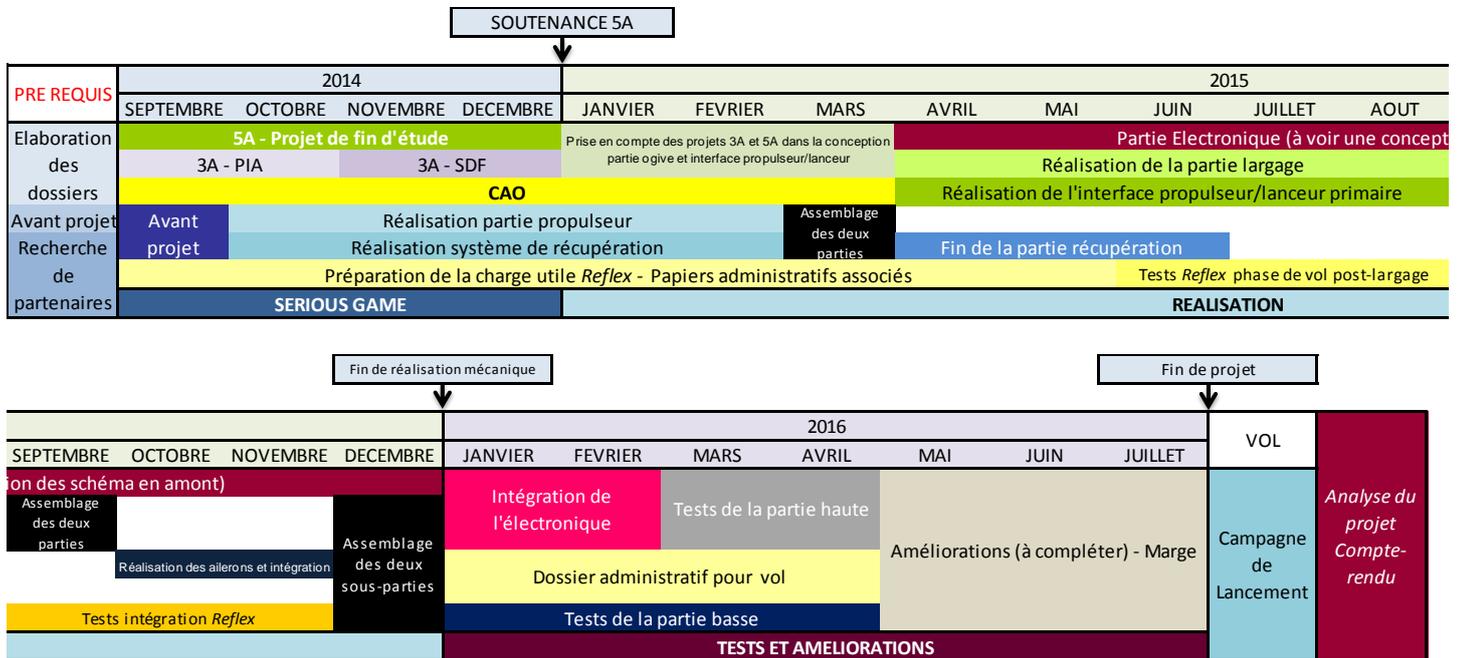


Figure 5 Planning 2014-2016

2.2. Planning 2017 (reconduite du projet)

Impossible de réaliser un planning prévisionnel au vue des conditions logistiques de cette année, une liste des taches par pôles de travail a donc été réalisée et cette dernière était remplie en fonction des disponibilités de chacun. Cette dynamique de planning était la seule solution réaliste que nous avions.

Cette distribution des tâches fait donc office de planning réel et fut mis à jour régulièrement jusqu'à la campagne de lancement.



MATRIOCHKA

GENERAL

ETAT	COM'	QUI	DEADLINE
OK	• Newsletter partenaires	Armelle	-
OK	• Nouveaux T-shirts ?	Armelle	Juin
OK	• Bilan IAC (ESO)	Armelle	-
en cours	• Ranger le drive et diffuser les NT pour l'ESO	Armelle	Septembre 2017
OK	• Remboursement IAC	Armelle	-
CDC			
stage Bertrand	• Rédiger un CDC Bi-étage • Rédiger un CDC pour la charge utile (cf manuscrit et présentation IAC + estimer l'impact de la fourchette de variation de la minuteri)	Bertrand Armelle	- Septembre 2017
MECA GENERALE			
suspendu	• Refaire le support vertical • Tests de flèche (si besoin perçage en M4)	Armelle	10-14 Juillet
en cours	• Mettre à jour la chrono de vol	-	Juillet
en cours	• Mettre à jour la chrono R3	Armelle	RCE3
en cours	• Mettre à jour le doc Pla Sci	Armelle	RCE3





MATRIOCHKA

Partie Haute : Tâches à effectuer

ETAT		QUI	DEADLINE
	TEST OUVERTURE OGIVALE		
	• Refaire des tests (pour checker)	-	8 Juillet
	REFLEX		
suspendu	• Ajout d'un manomètre	-	-
OK	• Faire fonctionner la caméra Reflex	Armelle	Avril
OK	• Acheter une carte SD pour la camera Reflex	Armelle	Avril
OK	• Intégrer une caméra (Reçu le 15/01)	Armelle	Mai
OK	• Régler le problème du jeu sur la séparation transversale : changer les suspentes	Armelle	Avril
OK	• Régler le problème du jeu sur la séparation transversale : ajouter une pièce sur les coquilles	Armelle	26 Mai
OK	• Bloquer la rotation de la sépa transversale Reflex	Bertrand	Avril
OK	• Vérifier la bonne tenue du pion de verrouillage (vérifié le 24/04)	Bertrand	Fin Avril
suspendu	• Changer le second patin par un patin rocketry ? (tester pour éviter le rotulage de la fusée en sortie de rail) Reçu lors de la RCE2	-	-
OK	• AILERONS :	-	-
OK	o Recoller l'aileron décollé	-	-
OK	o Vérifier la bonne tenue de l'aileron recollé	-	-
OK	• Vérifier TOUS LES TARAUDAGES + vernis auto-bloquant sur la vis M3	Bertrand	Avril
OK	• Test autonomie pneuma	Bertrand	26 Mai
OK	• Acheter nouvelles durites + nouveaux raccords	Armelle	Mai
OK	• Changer les durites et les raccords	Bertrand	Avril
OK	• Changer le Jack mâle (stéréo ou mono ?) - Percer le jack pour ficelle + limer peau Reflex (jack frotte la peau un peu)	Bertrand	Début Mai
OK	• Isoler les bornes non utilisées de l'interrupteur	Bertrand	RCE 2
OK	• Isoler plus soigneusement la résistance de la del jack (pistocolle ?)	Bertrand	26 Mai
OK	• Isoler plus soigneusement les dels de la carte de MEO	Bertrand	26 Mai
OK	• Baliser les perçages non utilisés des treillis	Bertrand	26 Mai
suspendu	• Garder ou conserver le capteur optique ?	Bertrand	Mai
OK	• Refixer le capteur optique	Bertrand	26 Mai
en cours	• Rafraichir la peinture + vernir	Armelle	10-14 Juillet
	OGIVE		
en cours	• Pâte à Bismark !!! (test d'ouverture)	-	-
	ETAGE THERMIQUE		
OK	• Refaire un culot (facultatif) - Prise des cotes le 14/01 - Envoyé à Tom le 18/01 - Reçu lors de la RCE2	Armelle	Février
OK	• Intégrer le nouveau culot (ajuster, peindre, assembler)	Francois	1 Juillet
OK	• Achat colle pour déflecteur bois sur bague alu + bois sur bois pour coller le haut du déflecteur		RCE 3
	ELEC MAF REFLEX		
suspendu	• Tester la réception des antennes	-	-
suspendu	• Déplacer le récepteur au culot de Stimulus (si mauvaise réception)	-	-
	mmander les caméras de radio-modélisme	Armelle	Janvier
	égérer les deux caméras lanceur : limer, peindre les supports, ajouter des étiquettes + intégrer les supports + cam (mousse)	Armelle	1 Juillet
	CASE ELEC		
OK	• Intégration des cartes (asap)	-	Mai
OK	Récup'	-	Mai
OK	Mise à feu	-	Mai
	DECORATION STIMULUS		
en cours	• mise en place des logos	Armelle	Juillet

Partie Basse : Tâches à effectuer

ETAT		QUI	DEADLINE
	AILERONS		
OK	Changer les vis des ailerons pour faciliter l'assemblage (acheter des têtes hexagonales M5 20mm)	-	RCE3
en cours	Caréner les vis pour limiter le contact avec les suspentes (pâte à joint par ex)	-	C'Space 2017
OK	Justifier la stabilité auprès du CNES !	-	RCE2
OK	Discussion avec Matthias (DLR), nouvelle simu sur Open Lab en cours mais la démarche est cohérente et les marges prises en compte aussi (17/01/2017)	-	



Electronique : Tâches à effectuer

ETAT		QUI	DEADLINE
Carte de Récupération Lanceur			
OK	- Test électro-mécanique récupération Lanceur		we mi-mai
	- Régler la tempo sur x s (vidéo)	Pierre G	RCE 3
OK	- Refaire la carte	Bertrand	24-Mar
	standardiser l'intégration (dimensions et perçages) -> M&J du typon	Bertrand	24-Mar
	vérifier les notes papier et compléter ce planning (tempo déclenchement ?)	Bertrand	29-Mar
	vérification typon, diminuer le nombre de via	Bertrand	29-Mar
	vérifier que la Vsat de l'AOP est 0 (ou sa remise à 0 à la main)	Bertrand	29-Mar
	vérifier Rfixe + Rvariable	Bertrand	29-Mar
	vérifier que le plan de masse a un entrefer	Bertrand	29-Mar
	modèle 3D de l'intégration élec	Bertrand	02-Apr
	Tester sur plaque à bidouille	Bertrand	07-Apr
	Tirer la carte avec Augustin et prendre/commander les compos manquants	Bertrand	14-Apr
	Souder	Bertrand	28-Apr
	tester et valider	Bertrand	09-May
	- Carte de secours: fraiser le plan de masse là où il est presque en contact avec le 18V ressouder le fil noir de la ventouse tester et valider		
Carte de Récupération Reflex			
OK	- Vérification globale de l'état du câblage	Armelle	26 Mai
OK	- Test électro-mécanique récupération Reflex (vidéo)	Armelle	27 Mai
Suspendu	- Réglage capteur optique - suppression ?	Armelle	15-May
Carte de Mise à Feu Reflex			
OK	RETEX C'Space (conseils)		
OK	Finir la carte réalisée au C'Space (la faire vérifier par Jérôme) Vérifiée par Romain	Pierre G	06-Nov Changer AOP (alim)
Suspendu	Contacter l'équipe du GLES-FACILE		
OK	Estimer la distance minimale qu'il faudrait entre la centrale et la ventouse magnétique	Bertrand	24-Mar
OK	Plan EXHAUSTIF de la carte de MAF !!! (Scanner - mettre sur le drive)	Pierre G	asap
OK	Réaliser la carte (plan - typon)	Pierre G	fin novembre
en cours	Souder la carte (devis)	PCB Pool	décembre ?
	Intégrer la carte	Pierre G	janvier
OK	Améliorer le blindage et le câblage de TOUTES les CARTES (fil multibrins)	Bertrand / Pierre / Arm	we mi-mai
OK	UNIFORMISER LE CABLAGE	Bertrand / Pierre / Arm	we mi-mai
OK	Enregistrement à bord ?	Pierre G	
en cours	- Test complet de la mise à feu		avant 31 mai
TESTS			
en cours	Test mise à feu Reflex complète (simu infla)		Juillet
en cours	Test mise à feu Reflex complète (réel infla)		Juillet
OK	- Refaire le connecteur pour recharger les batteries		



3. Financement & Partenaires

3.1. Bilan financier (au 04/07/2017)

	2014-2015	2015-2016	2016-2017	TOTAL
ESO	1000€	1000€	0	2000€
ESTACA (IAC)	0	0	2 280€	2280€
Crowd Funding (IAC)	0	0	928€	928€
Feller	0	0	300€	300€
Investissements des membres	0	0	300€	300€
			TOTAL	5 808€

3.2. Partenaires et Sponsors

Matriochka a été sponsorisée par L'Observatoire de Paris, MMB, une entreprise vosgienne spécialisée dans l'usinage ainsi que par la start-up FabShop spécialisée dans l'impression 3D qui a réalisé les ailerons en 3D du lanceur (le partenariat de MMB représente plus de 800 euros de pièces).

Le projet a également pu bénéficier de la confiance des partenaires de l'ESO : SEREM 74 pour les ventouses électromagnétiques et GEFI pour les ressorts.

Merci à nos partenaires et à nos KissKissBankers qui ont rendu Matriochka possible au-delà du papier !



4. Communication

Matriochka a également été axé sur la communication afin de promouvoir le projet, l'équipe mais également l'ESO, l'ESTACA et les activités Planète Sciences. Cette partie intégrante du projet a permis de trouver de nouveaux partenaires mais également de collecter des fonds notamment pour participer à l'IAC 2016 à Guadalajara.

4.1. Communication digitale

- Matriochka dispose de sa propre page facebook qui permet de diffuser rapidement et aisément les news du projet ainsi que les photos. Il est ainsi facile de suivre l'avancement du projet au fil de l'eau.

<https://www.facebook.com/matriochka.eso/>

- Sites web du projet et de l'ESO :

<http://matriochka-eso.wixsite.com/matriochka>

<http://www.eso.estaca.org/index.php/nos-projets/2016/projet-matriochka>

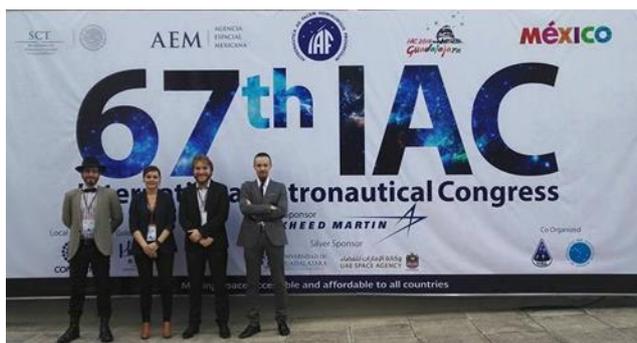
- Campagne de Crowd Funding :

<https://www.kisskissbankbank.com/matriochka>

4.2. IAC 2016

4.2.1. Qu'est-ce que l'IAC ?

L'IAC est un évènement annuel qui rassemble les industriels, les agences, les universités et toutes les nouvelles entreprises du spatial mondial. Le congrès se compose à la fois de stands qui offrent la possibilité de découvrir et de discuter avec des acteurs très variés et d'assister à de nombreuses conférences. Ces dernières se divisent en plusieurs symposiums thématiques (technique, éducation, management et qualité, recherche, exploration, ...) eux-mêmes sous divisés en une dizaine de sessions comportant chacune au moins dix présentations. L'IAC est un congrès qui promeut l'échange d'informations et d'actualités. Ainsi, au sein d'un même sujet, on peut à la fois découvrir un projet étudiant ou doctoral, une étude en phase 0, un projet en cours de production, des résultats de recherches et d'expérimentations ou encore des sujets plus théoriques. Cette diversité permet à la fois d'assister à des conférences dont le sujet nous est cher mais également de découvrir de nouveaux sujets et acteurs grâce aux diverses présentations. Cette année, l'IAC s'est installé au Mexique, à Guadalajara, avec plus de 4 millions d'habitants, elle constitue le pôle économique, culturel et universitaire du pays.



4.2.2. Quels étaient les objectifs de Matriochka lors de cet évènement ?

Pour Matriochka, l'objectif était de présenter quatre conférences sur les thèmes suivant : *Technology for future space transportation systems*, *Small launchers : concepts and operations*, *Safety, quality and knowledge management in space activities* et *On track, Undergraduate space education*. La majorité des membres de Matriochka ont participé à la rédaction des quatre abstracts fin 2015. A notre grande surprise et joie, les quatre textes ont été reçus par l'IAF, International Astronautical Federation qui organise l'IAC. Nous avons ainsi décidé de créer une mini délégation afin de présenter les quatre conférences à l'IAC ; quatre matriochkins ont été désignés afin de limiter le budget tout en maximisant le nombre de membres impliqués. Pierre Gabrielli, François Andrusyszyn, Bertrand Bocquet et Armelle Frenea-Schmidt ont ainsi rédigé les quatre manuscrits, développement des quatre précédents abstracts ainsi que les présentations.

4.2.3. Quels financements ?

Un membre est venu du Canada, un autre de Suède, les deux autres de France. Le plus important budget a ainsi résidé dans les billets d'avion. L'arrivée du Canada nous a permis d'optimiser énormément le budget puisque cet aller-retour a coûté la moitié du prix des autres billets. Nous avons également anticipé au maximum l'achat de ces billets afin de limiter le budget. Le second poste de dépense a été l'hébergement qui nous a coûté 400€. Le prix des repas a été très faible puisque la vie sur place est bien moins chère qu'en France. La dernière dépense a été celle des frais d'enregistrement à l'IAC qui correspondaient à un tarif étudiant (80€/pers). Au total (transport y compris rer et bus + repas + hébergement + enregistrement), l'IAC nous a coûté 4 600€. Plus de la moitié a été financée par une campagne de crowd funding (kisskissbankbank) ainsi que par l'investissement de chaque membre parti pour l'IAC. Le reste sera remboursé par l'ESTACA qui nous a accordé son soutien financier en juin dernier. Un investissement conséquent certes mais que nous avons su limiter en anticipant les dépenses notamment pour l'enregistrement et les billets d'avion.

NOTA : A l'origine, nous avons demandé un soutien à l'ESO qui nous avait généreusement accordé 200 €, au final, nous avons décidé de ne pas utiliser le budget ESO qui représente à l'échelle de l'association le budget d'une minifusée !

4.2.4. Quel bilan dresser ?

➔ **Bertrand Bocquet** : « Assister aux conférences : l'intérêt des conférences réside dans l'intérêt des différents orateurs, c'est donc assez hasardeux au global. En gros il y a trois types de conférences: les conférences ayant un contenu technique avancé (comme celles que nous avons données), les conférences ayant un contenu technique assez superficiel (comprendre des projets en stade 0 voir A dans le meilleur des cas) et les conférences non-techniques ou para-techniques, qui s'attachent aux aspects juridiques, organisationnels... Pour les conférences techniques je trouve que celles présentant des projets avancés (au stade de la production/exploitation ou en essais/démonstration technologique) sont les plus intéressantes à suivre et celles où il est possible de gagner le plus de retour d'expérience. Pour les conférences non-techniques tout dépend du sujet. Dans tous les cas c'est l'occasion de découvrir de petites initiatives qui sortent des sentiers battus et qui sont autrement méconnues.

Donner les conférences : tout d'abord c'est l'occasion d'être publié (manuscrit) ce que nous espérons-le perpétue nos traditions et savoir-faire. Dans tous les cas c'est un moyen intéressant de faire connaître notre école et notre activité tout de même particulière. Sans trop généraliser, il y a deux types de publics: ceux qui ne comprennent pas ce qu'on fait là, et ceux qui trouvent notre présence géniale. A nous de convaincre les premiers et de satisfaire les seconds ! C'est aussi un excellent exercice de communication,



un vrai pas comme à l'ESTACA. C'est vraiment formateur, autant sur la prise de parole que l'élaboration des diaporamas. Ce n'est donc pas un point à négliger.

Divers : c'est un contexte international donc intense niveau interactions humaines. Là aussi la découverte est de mise. »

→ **François** : « Concernant nos conférences, les gens ont été globalement intéressés par nos différents sujets surtout pour les trois conférences techniques ; en effet, il a été plus difficile de capter l'attention lors du séminaire sur la qualité, nous sommes en effet passés entre deux agences spatiales qui présentaient des outils très similaires. Des félicitations particulières à Bertrand d'ailleurs qui a du assurer sa conférence seul dû aux quelques menus soucis de santé de Pierre lors de cette session[...] Comme c'est un congrès international, c'est aussi l'occasion de découvrir ce que font les autres pays mais aussi de découvrir de nouvelles méthodes de travail. »

→ **Pierre** : « Pour les conférences que nous avons données, je reconnais avoir eu un peu peur de l'accueil qu'elles recevraient étant donné que nous passions au milieu d'industriels. Mais finalement ça s'est très bien passé et je suis assez content de me rendre compte que les gens étaient intéressés et avaient des questions à nous poser. (Mention spéciale à Bertrand qui a donné une des conférences seul quand j'étais malade). Ces conférences nous ont permis de faire découvrir notre projet, notre association et notre école. De plus, c'était, pour moi, la première prise de paroles devant autant de personnes, qui plus est devant des industriels et en anglais.»

→ **Armelle** : « Ayant eu l'opportunité de participer à l'IAC de Pékin en 2013, il est difficile de ne pas comparer les deux événements. Si j'avais trouvé le premier trop élitiste et quelque peu « vitrine », le congrès de 2016 a été quant à lui plus ouvert avec la présence de nombreux étudiants mexicains. La variété des thèmes abordés et la quantité gargantuesque de conférences sont l'illustration d'un spatial en véritable mouvement à travers le monde entier. Matriochka, bien qu'étant un projet étudiant, a pu y trouver sa place comme bien d'autres projets étudiants souvent très portés sur des phases d'avant-projet. Le stade d'avancement de Matriochka, l'aspect « fait main » de A à Z, du concept à la phase opérationnelle constitue réellement l'originalité de notre association. C'est donc avec fierté que nous avons pu représenter l'ESO et Matriochka tous les quatre car l'IAC c'est aussi et surtout un événement à vivre en équipe ; bien que nous n'ayons été que quatre et non avec l'ensemble des Matriochkins, cela nous a réellement motivé à assurer la qualité de nos présentations. [...] Une future participation à l'IAC ? Si l'intérêt personnel est manifeste lors de ce type d'événements, il est encore difficile de constater une plus-value globale pour l'association. L'IAC permet de présenter les projets et de faire connaître le projet et une équipe plus qu'une personne et c'est tout l'intérêt d'y aller à plusieurs. Tenir un stand est plus visuel et s'adresse à plus de public, cette activité peut donc être plus intéressante pour se faire connaître globalement mais pour parler technique et présenter de manière détaillée un projet ou un système développé, la conférence devient l'élément adéquat. Tout dépend donc de l'objectif. Pour Matriochka, le but était de présenter le projet et essentiellement les problématiques de réutilisabilité et de flexibilité. »

5. Ressources

5.1. Equipe & Compétences

L'équipe était constituée d'étudiants ou d'anciens élèves de l'ESTACA. On rappelle à ce sujet que l'ESTACA est une école d'ingénieurs en cinq ans répartis en deux années de prépa intégrée puis trois ans de cycle ingénieur. Les membres encore actifs cette dernière du projet ont continué à travailler selon les pôles qui étaient les leurs au cours des années précédentes.

En cette dernière année du projet *Matriochka*, l'équipe pouvait donc compter sur :

- ✓ un membre expérimenté sur la partie basse du lanceur ;
- ✓ deux à trois membres formés sur la partie haute du lanceur et Reflex ;
- ✓ deux membres disponibles pour les systèmes électroniques et surtout la mise à feu ;
- ✓ le responsable de projet coordonnant les efforts de tous et capable d'intervenir sur tous les sous-systèmes.

Ces différents membres étant cependant dispersés géographiquement de la façon suivante :

- le responsable de projet ayant commencé sa vie professionnelle aux Pays-Bas ;
- les deux membres restant de l'équipe électronique suivant les cours de 5^{ème} année à l'ESTACA (donc à proximité immédiate de l'atelier de l'association, voir plus ci-après) ;
- un membre en semestre dans une autre école d'ingénieurs à Toulouse (SUPAERO) ;
- trois membres en semestre à l'international (Angleterre, Suède et Canada) ;
- un membre en immersion au Luxembourg.

L'équipe a donc été réduite en 2017 afin de s'adapter à la charge de travail mais également afin de libérer les plus jeunes membres afin qu'ils découvrent d'autres projets. Mais c'est la dispersion géographique qui a constitué une contrainte majeure.

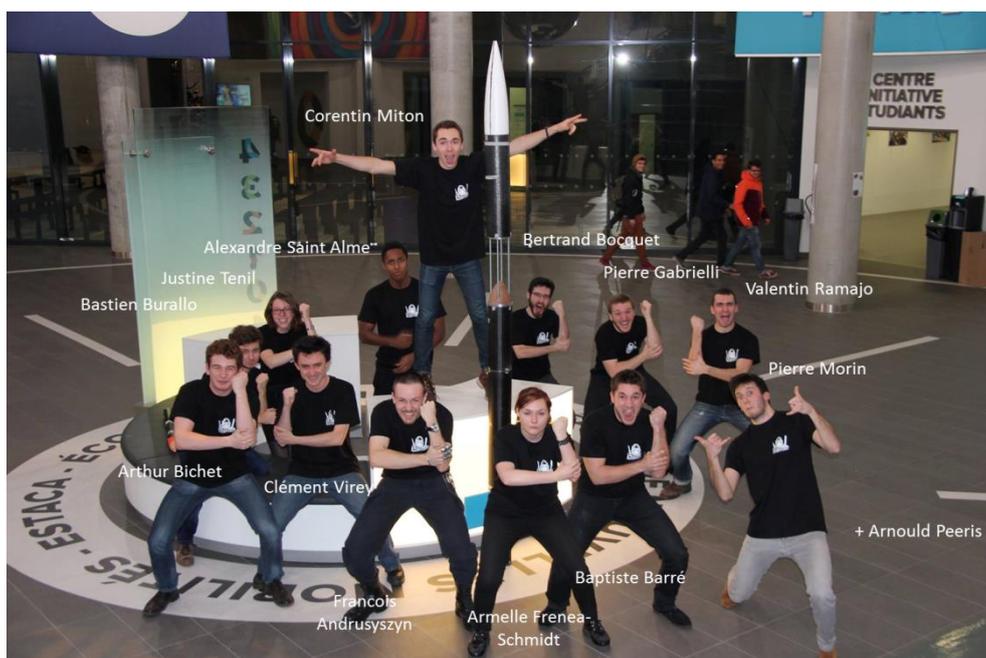


Figure 6 Matriochkins 2016

5.2. Moyens

Les phases de conception ont souvent lieu dans des salles inoccupées de l'école ou bien dans tout lieu convenant à l'équipe.

Pour les phases de réalisation, l'association ESO permet à ses projets d'utiliser le local associatif comme atelier pour la plupart des tâches de réalisation utilisant des moyens « légers » : établis, outils manuels allant jusqu'à une perceuse à colonne ainsi que des rangements. L'usinage doit avoir lieu dans l'atelier de l'école où sont opérées les machines-outils, parmi lesquelles un tour et une fraiseuse à commandes numériques et une CNC. Ces moyens plus lourds nécessitent l'assistance voire le travail d'un technicien professionnel avec lequel il faut prendre rendez-vous. Il est également possible depuis peu d'utiliser des imprimantes 3D qu'il faut également réserver. Tous ces locaux faisant partis de l'école ils sont soumis à ses horaires d'ouvertures, c'est-à-dire de 07h30 à 21h00 la semaine et le samedi matin de 07h30 à 13h00. Le personnel responsable des machines-outils et des imprimantes 3D est disponible pendant les horaires de bureaux et uniquement du mardi au vendredi. Notons également pour l'historique du projet que l'école a déménagé mi-2015, période de plusieurs mois durant laquelle l'équipe n'a pas eu accès au local ni aux machines-outils ce qui s'est solutionné par une recherche de partenaires (MMB et Observatoire de Paris). De plus, l'école sur son nouveau site de SQY n'est ouverte qu'aux horaires décrits ci-dessus et non 24h/24 et 7 jours/7 comme c'était le cas autrefois, ces nouveaux horaires ont rendu encore plus difficile la réunion des Matriochkins restants.

Anticipant le transport pour la campagne de lancement de 2016, une caisse de transport avait été réalisée. Etant donné la dispersion géographique des membres de l'équipe, il fut décidé de ne pas stocker le projet au local entre la campagne de 2016 et le début 2017. En effet, les deux seuls membres à proximité immédiate de l'école étant les membres électriciens, la caisse de projet fut stockée chez l'un d'entre eux et leurs tâches accomplies selon leur convenance et les circonstances soit au local soit directement chez eux. La caisse du projet ne fut donc déplacée qu'en janvier alors que les activités d'intégration nécessitant un atelier furent rouvertes.



Chapitre 4 : Analyse de Sécurité

1. Analyse Préliminaire des Risques (APR)

1.1. Identification du système

- Sous-systèmes : électronique
- Fonctions principales :
 - Mise à feu de la charge utile
 - Récupération du lanceur
 - Récupération de la charge utile
- Personnes : membres de l'équipe électronique, pyrotechnicien
- Lieux : local associatif, rampe de lancement, tests au sol, zone de lancement
- Mode de fonctionnement : automatique
- Entité responsable : équipe de lancement

1.2. Définition des critères

- Niveaux de gravité :

Catastrophique 4	Critique 3	Majeur 2	Négligeable 1
Trajectoire non prévisible	Perte de la charge utile	Détérioration de la charge utile	Détérioration performance de la mission
Non allumage du propulseur de la charge utile	Détérioration du lanceur	-	-
Perte du lanceur et/ou de la charge utile	-	-	-

- Occurrence :

Fréquente 6	L'événement se produit à 1 test sur 3
Probable 5	Se produit à 1 test sur 10
Occasionnelle 4	Quelques fois sans fréquence figée (hasardeux)
Rare 3	Au max 2 fois lors des tests au sol
Improbable 2	1 test sur 100
In vraisemblable 1	1 fois

- Détection :

Non détectable 4	Impossible de détecter la défaillance
Détection aléatoire 3	Difficilement détectable
Détection possible 2	Systeme de détection existant mais possibilité de passer au travers
Détection assurée 1	Le système peut détecter l'événement redouté

- Criticité :

		Gravité			
		Négligeable	Majeur	Critique	Catastrophique
Fréquence	Fréquent	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Probable	Indésirable	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable
	Occasionnel	Acceptable	Indésirable	Indésirable	Inacceptable
	Rare	Négligeable	Acceptable	Indésirable	Inacceptable
	Improbable	Négligeable	Négligeable	Acceptable	Indésirable
	Inraisemblable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Indésirable

Suite à ces définitions de critères, nous allons étudier les cas de pannes simples par phase puis les cas de pannes doubles, en donnant leurs criticité, occurrence et détection afin d'identifier quels sont les scénarii négligeables et ceux qui requièrent une attention particulière.



2. Présentation des modes de défaillance par phase

→ Mise en rampe

- Non allumage des DELs d'état
- Allumage d'une mauvaise DEL
- Mise à feu prématurée de la charge utile
- Sortie parachute lanceur
- Sortie parachute charge utile

→ Décollage / Phase propulsée pro 54

- Mise à feu prématurée de la charge utile
- Sortie parachute lanceur
- Sortie parachute charge utile

→ Éjection charge utile

- Non éjection de la charge utile
- Sortie parachute lanceur
- Sortie parachute charge utile

→ Phase propulsée charge utile

- Sortie prématurée du parachute de la charge utile

→ Récupération du lanceur

- Non sortie du parachute

→ Récupération de la charge utile

- Non sortie du parachute



3. AMDEC

3.1. Tableau 1 : Analyse des modes de défaillances par carte en cas de simple panne

Ce tableau est une analyse de simple panne carte par carte. Il ne prend pas compte le fait que deux cartes peuvent agir au même moment.

3.1.1. Récupération lanceur (minuterie analogique)

On remarque pour cette carte deux « zones rouges » : la perte de fonction par non arrachage du jack et celle par déconnexion des batteries pendant le vol. Pour pallier à ces deux modes de défaillances, nous avons choisi d'utiliser un jack entièrement métallique et de bonne qualité et de fixer correctement les fils dans le tube pour éviter tout accrochage ou mouvement susceptible de les déconnecter.

3.1.2. Carte de mise à feu (MAF)

Sur cette carte on trouve trois « zones rouges », plus graves que celles de la carte précédente : la perte de fonction par non arrachage du jack (voir minuterie analogique), celle par valeur d'accélération recherchée non trouvée et l'éjection tardive par mauvais calibrage de l'accéléromètre.

Si l'on ne trouve pas la bonne valeur d'accélération, cela peut être dû à deux causes : soit la fusée n'est pas passée par cette valeur d'accélération (donc il est normal que la charge utile n'ait pas été éjectée), soit l'accéléromètre est défaillant.

Pour éviter une éjection tardive de la charge utile, une fenêtre temporelle basée sur le Stab/Traj de la fusée est mise en place, empêchant l'éjection avant et après certaines valeur prédéfinies.

3.1.3. Récupération de la charge utile

Ici, deux « zones rouges », correspondant à la perte de fonction par non détection de la sortie du lanceur par le capteur optique et au déclenchement prématuré par détection de lumière par le capteur optique (le capteur optique est en fait un phototransistor à infrarouge qui possède une résistance infinie dans le noir et qui diminue quand la luminosité augmente).



3.2. Tableau 2 : Analyse des modes de défaillances par phase

Cf. Annexe 3

3.3. Tableau 3 : Analyse des cas de double pannes

Les pannes en colonne surviennent à l'instant $t - \epsilon$, tandis que celles en lignes apparaissent à $t + \epsilon$.

Notons donc que le tableau n'est pas symétrique car la défaillance n'est pas forcément la même en fonction de l'ordre dans lequel apparaît la panne.

Une double panne peut apparaître mais les deux pannes peuvent ne pas être liées ce qui donne la case double panne indépendante. Dans ce cas, la criticité est celle de la panne la plus grave.

Pour la première ligne, une MAF de Reflex en rampe a une criticité maximale quelle que soit la seconde panne. On estime également que si la MAF se déclenche en rampe, le lancement sera interrompu et le lanceur ne décollera pas. Ainsi, si Reflex est éjectée en rampe, il est normal que le parachute du lanceur ne sorte pas. Le reste du tableau fonctionne sur ce principe.

Nous avons ainsi pu identifier plusieurs points « critiques » :

- Le premier est le câble jack. Toutefois, celui-ci est utilisé depuis des années et on peut donc estimer que ce système est fiable. Nous ferons attention à ce que rien ne gêne son arrachage et prendront soin à choisir un câble de meilleure qualité que celui utilisé sur le projet Miss Paramount (lors du vol de cette fusée, le jack s'est cassé et est resté dans la fusée 2s supplémentaire, entraînant une sortie des parachutes retardée).
- Le second est la mise à feu (prématurée ou tardive) de Reflex qui apparaît dans presque toutes les phases de vol. Le point à améliorer est ici l'accéléromètre. On se rend compte qu'un seul accéléromètre est insuffisant car en cas de défaillance de celui-ci, il n'y a aucune sécurité. L'idée fut donc d'en rajouter au moins un second et de n'éjecter Reflex que si les données qu'ils renvoient sont comparables. Toutefois, l'implémentation d'un vote majoritaire bien que très intéressant sur un plan théorique a été très complexe à implémenter. Ainsi en voulant rendre fiable notre système, nous avons détérioré sa robustesse. Un compromis a donc été trouvé, nous utiliserons un arduino afin de bénéficier de la simplicité d'implémentation tout en garantissant une qualité industrielle (voir chapitre 6 pour le détail).
- Le dernier point est la sortie parachute de Reflex. En effet, on a pu se rendre compte qu'une sortie du parachute avant ou pendant la MAF pourrait avoir un effet catastrophique sur le vol. Pour empêcher cela, on se propose de rajouter un jack. Ainsi, le parachute ne sortira que si le capteur optique détecte la sortie et si le jack s'arrache.



3.4. Conclusion de l'analyse de sécurité

Phases	Risques Majeurs (dimensionnant pour la carte de MAF)	Solutions	Avancement
Mise en rampe	Déclenchement intempestif de la MAF lors des opérations en rampe	Shunt pyro et Interrupteur pyro	OK
Décollage/Phase propulsée	Rafale en sortie de rampe	<u>Non pris en compte</u> dans la mesure où le second étage est intégré dans le premier, ce risque est donc identique à celui d'une fusex classique (pas de contrainte particulière)	-
	Déclenchement intempestif MAF (pression trop importante entraînant un comportement incertain du lanceur et donc une attitude risquée)	Fenêtrage temporel (borne basse correspondant à la fin de poussée théorique du Pro 54 + marge) – Redondée par une intégrale de de poussée du Pro 54 (repris du projet <i>Courage</i> , bi-étage ESO)	OK
	Ouverture intempestive de la porte latérale de la récupération lanceur pouvant entrainer un comportement incertain et donc dangereux du lanceur	Mise en place d'un contacteur de porte pour attester que la porte latérale est bien fermée	OK
Phase descendante	Ne jamais déclencher la MAF quand le lanceur a franchi son apogée, cela entrainerait un déclenchement alors que Reflex est orientée vers le sol	Fenêtre temporelle	OK
	Déclenchement alors que le lanceur est dans sa phase de descente sous parachute	Contacteur de porte + Fenêtre temporelle	OK
Récupération lanceur	Interfère avec la MAF	Le déclenchement est analogique et il n'y a aucune interaction entre la carte de récupération et la carte de MAF (y compris l'alimentation)	OK

Sur l'ensemble du vol, il doit être garanti que le déclenchement de la MAF n'est autorisée que si l'attitude du lanceur est adéquate (conditions recherchées spécifiées dans le chapitre 6). La solution est ainsi d'utiliser une **centrale inertielle** (voir chapitre 6 pour avoir une description détaillée de la solution). Cette solution est redondée avec la borne haute de la fenêtre temporelle.

Dans tous les cas, lancer dans des conditions de vent faible semble plus que conseillé.



Chapitre 5 : Conception Mécanique

Matriochka est un projet de fusée expérimentale bi-étage dont le second étage, une minifusée, est intégré dans le lanceur qui constitue le premier étage. Cet étage utilise un Pro 54 alors que le moteur de la charge utile est un Cariacou. L'ogive du lanceur doit donc nécessairement autoriser la sortie de la charge utile au moment de l'éjection.

Caractéristiques :

Longueur totale du lanceur	3.10 m
Diamètre de référence du lanceur	140 mm
Longueur totale de Reflex	1.06 m
Diamètre de référence de Reflex	65 mm
Masse totale lanceur + Reflex (propus plein)	13.9 kg
Masse lanceur	10.6 kg
Masse Reflex	2.5 kg

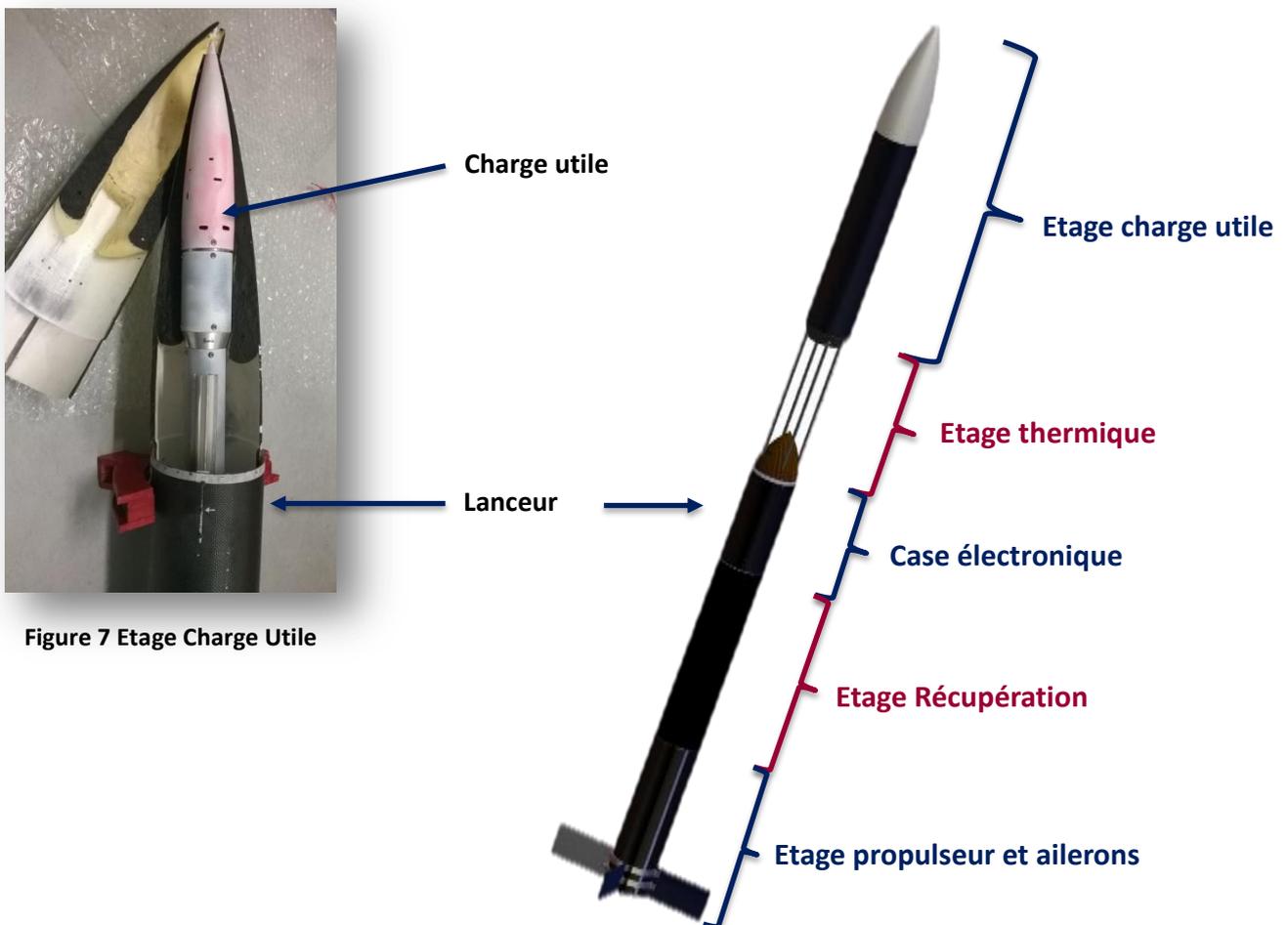


Figure 8: Architecture générale lanceur

1. Structure du lanceur (1^{er} étage)

Tout d'abord, notons que le lanceur Stimulus a un diamètre de 140mm. Ce diamètre correspond au compromis entre la possibilité d'intégrer une minifusée de diamètre compris entre 50 et 75 mm (correspondant à la majorité des minifusées) et les moyens et les savoir-faire à l'ESO. Un plus grand diamètre engendrerait des contraintes supplémentaires de poids, de balourd mais également de fabrication.

1.1. Ogive et intégration Reflex

La charge utile, Reflex, repose dans le tube supérieur du lanceur sur sa bague de poussée et actionne lors de l'éjection l'ouverture de l'ogive qui se fait en deux temps :

- une phase de translation, pendant laquelle les deux pièces d'ogive du lanceur sont poussées via le contact de la minifusée ;
- puis une phase de séparation des deux pièces d'ogive, sous l'action de deux ressorts.

Remarque 1 : La translation de la minifusée Reflex est assurée par un rail directement intégré dans l'étage Reflex. La minifusée doit donc être pourvue de patins de type minifusée standard ou de type Rocketry pour allonger le temps de contact entre Reflex et le rail lors du décollage de cette dernière.

Remarque 2 : Les pièces d'ogives sont cependant retenues par des câbles accrochés au lanceur, permettant ainsi leur récupération.

Afin de limiter les infiltrations d'air entre les pièces d'ogives et la charge utile, l'ogive lanceur est tronquée à sa pointe (un « Bismarck », c'est-à-dire une pâte recouvrant le bout des deux ogives est utilisée pour réduire les risques d'ouverture intempestive ; de plus les deux pièces d'ogive se recouvrent l'une et l'autre). Pour une meilleure transmission des efforts à l'éjection, les pièces d'ogive sont moulées selon l'empreinte de la charge utile.

La fermeture de l'ogive est obtenue par un centrage cylindrique long dans le tube contenant la charge utile, redondé par le recouvrement mutuel des pièces d'ogive.



Figure 9 Ouverture Ogive

Reflex est intégré sur un rail réalisé à partir d'un profilé Bosch identique à celui utilisé pour la rampe de Rocketry.

Ce dernier est fixé au lanceur via trois points :

- une vis M5 entre le profilé et la bague haute de l'étage thermique
- Deux vis M3 passantes dans la peau en carbone de l'étage charge utile vissées dans le profilé Bosch.

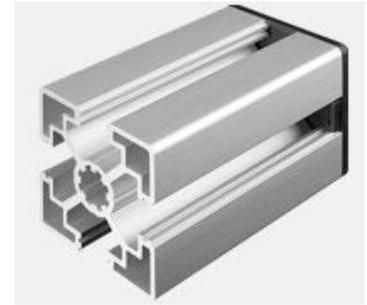


Figure 10 Rail Reflex

Reflex comporte ainsi deux patins qui permettent de la glisser dans le rail comme n'importe quelle minifusée.

1.2. Etage thermique séparation « chaude »

Dans un but de réutilisation le lanceur se devait d'être simple, pour minimiser à la fois les phases de maintenance et d'opérations au profil des charges utiles embarquées (seconds étages). La formule la plus adaptée pour réaliser la séparation sembla donc être une séparation chaude. Il s'agit donc d'utiliser la poussée du moteur du 2nd étage, le Cariatou, comme moyen de séparation des deux étages. Cette méthode de séparation donne donc lieu à une architecture ouverte pour faciliter l'écoulement des gaz chauds éjectés par la tuyère du Cariatou.

Des tiges filetées M12 en acier de 50cm de longueur sont donc utilisés pour réaliser un treillis entre la bague supérieure de l'étage électrique et la bague inférieure de l'étage de la charge utile. Notons que la masse du système, quoiqu'importante, est justifiée par l'absence de flèche rendue possible grâce au boulonnage.

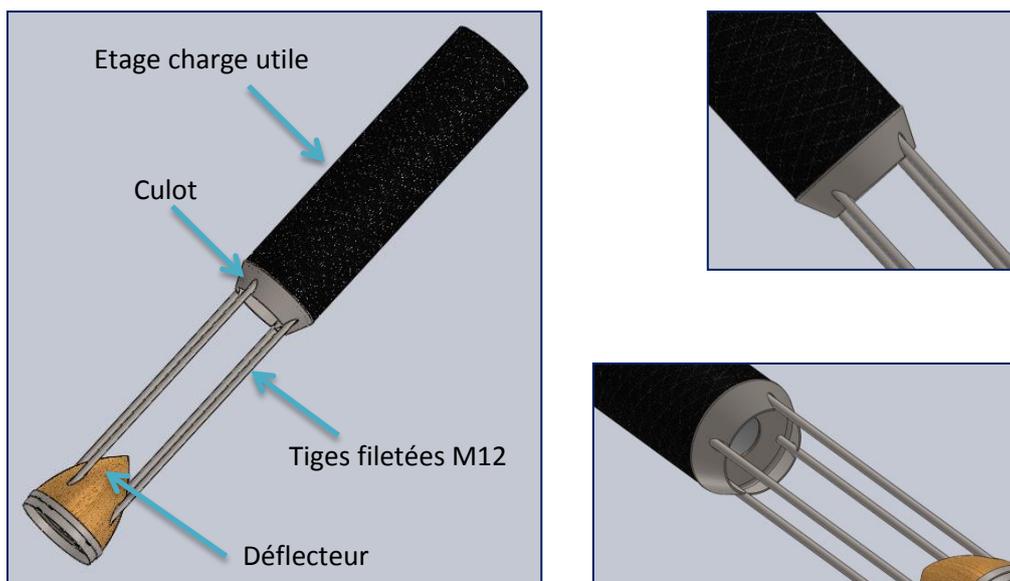


Figure 11 Architecture de l'étage thermique

On remarque cependant que la géométrie ouverte dégrade l'aérodynamique du lanceur car créé un second culot (ou fin de forme). Cette fin très franche de l'étage supérieur est optimisée par un culot en impression 3D.

Un déflecteur en bois joue également le double rôle d'améliorer l'écoulement et de servir de protection thermique consommable à la partie inférieure du lanceur. Du liège est utilisé afin de boucher les éventuels interstices ainsi que pour protéger l'intérieur du tube de la charge utile. Par sécurité, la peinture employée pour toutes les peaux du lanceur est une peinture dite « haute température ». Enfin, une graisse au lithium sera appliquée en chronologie de lancement sur toutes les parties (peaux, tiges, déflecteur...) susceptibles de voir la flamme du moteur.



1.3. Récupération du lanceur

1.3.1. Trappe Latérale

Le système de récupération du lanceur est un simple système de trappe latérale avec pour actionneur une ventouse électromagnétique et un ressort. Ce système a été choisi car déjà utilisé par plusieurs membres de l'équipe, permettant ainsi de s'affranchir d'une difficulté supplémentaire mais également pour sa simplicité de mise en œuvre.

Dimensionnement du système ventouse-ressort :

$$F = k \cdot (L_0 - L)$$

Avec $F = 0.75 \cdot F_{\text{ventouse}}$

Caractéristiques ventouse (Serem 74):

- Tension d'alimentation = 12V
- Force = 15 DaN

Caractéristiques Ressort (GEFI):

- Diamètre intérieur = 34mm
- Force de rappel = 100N
- Longueur à vide L_0 = 110mm
- Longueur comprimé = 37mm
- Raideur $k = 1,37$ N/mm

La porte latérale a ensuite été découpée en reportant un gabarit testée sur une précédente fusée dont la masse et la vitesse théorique de descente était similaires à celles de Matriochka, permettant ainsi d'avoir une bonne approximation du volume requis pour le parachute.



Figure 13 Case Parachute



Figure 12 Case Parachute assemblée

1.3.2. Ralentisseur

Afin de répondre au critère de réutilisabilité du lanceur ainsi qu'au cahier des charges fusée expérimentale, la récupération est réalisée par un parachute. Ce parachute a pour but de limiter la vitesse de chute du lanceur afin d'assurer l'intégrité du fuselage, des ailerons et des systèmes embarqués lors de l'impact avec le sol. Cette vitesse de descente doit être comprise entre 5 et 15 m/s, que la séparation ait eu lieu ou non. De plus, pour rappel, le parachute doit garantir la récupération soit du lanceur seul soit du lanceur et de sa charge utile non éjectée.

Dimensionnement du parachute :

Masse du lanceur sans *Reflex* (charge utile) : $m=10,652\text{kg}$

On choisit une vitesse de descente assez faible (le rajout de la masse de *Reflex* ne ferait qu'augmenter cette valeur) de $Vd = 6\text{ms}^{-1}$

$$S = \frac{2 \times g \times m}{R \times Cx \times Vd^2} \Rightarrow \boxed{S = 4,47\text{m}^2} \Rightarrow r = 1,2\text{m}$$

On vérifie que la vitesse de descente, pour cette surface, n'est pas trop élevée dans le cas où *Reflex* n'est pas séparée du lanceur : soit $m=12,652\text{kg}$

$$Vd = \sqrt{\left(\frac{2 \times g \times m}{R \times Cx \times S}\right)} \Rightarrow Vd = 6,54\text{ms}^{-1}$$

1.4. Case Propulseur

La case propulseur est réalisée en quatre éléments permettant d'insérer le propulseur et de transmettre sa poussée au lanceur. Une peau en matériau composite carbone-époxy est ainsi fermée à ses extrémités par la bague de reprise de poussée et une bague de centrage, toutes deux en aluminium alors qu'un plateau de centrage en bois est collé à l'intérieur du tube. Ce dernier plateau ne sert qu'à simplifier l'insertion du moteur. Enfin un domino permet de verrouiller le moteur dans son compartiment.

Les mises en plan des bagues notamment celle de la bague de poussée sont en annexe 2.



Figure 14 Domino de verrouillage Pro 54 (écrou papillon)



Figure 15 Nouveau culot aérodynamique

1.5. Fixation des ailerons lanceur

1.5.1. Le contexte - Pourquoi innover ?

Le projet *Matriochka* est un projet spécifique : le lanceur doit être réutilisable afin de permettre à plusieurs autres projets de voler. La charge embarquée qui constitue le 2nd étage peut donc varier d'un vol à l'autre. Dans les projets plus classiques conçus pour un unique vol, les ailerons sont à déterminer en fonction d'un unique plan de masse. Une fois dimensionnés, on peut donc placer les ailerons puis les fixer définitivement. Ceci n'est pas possible pour le lanceur car la masse et sa répartition ne sont pas constantes d'un vol à l'autre. Plutôt que de créer de nouveaux ailerons pour le lanceur à chaque nouvelle charge utile emportée, l'option de concevoir un seul jeu d'ailerons et jouer uniquement sur leur position fut choisie.

1.5.2. Cahier des charges et contraintes à respecter

Le nouveau système de fixation **ne doit pas être plus lourd** qu'un système classique. Il doit permettre un **réglage rapide et précis**, et enfin, il doit être **démontable** et **dissocié du corps de la fusée** (ex : collage au fuselage impossible).

Il **doit résister aux contraintes mécaniques** appliquées lors des tests et des vols. (Une étude spécifique a permis d'évaluer ces efforts).

1.5.3. Présentation de la solution technique choisie

L'idée de la solution est de fixer 2 rails contre le corps de la fusée (attachés non pas au corps en carbone mais aux bagues faisant les extrémités du tube propulseur). Sur ces 2 rails viennent coulisser 2 bagues qui tiennent les ailerons. Ces bagues ont un écartement constant mais elles translatent sur les rails puis sont bloquées par des vis. Cela permet de jouer sur la position des ailerons.

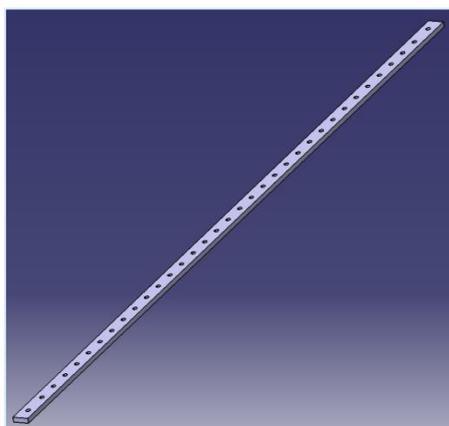


Figure 16 Rail de fixation / réglage ailerons

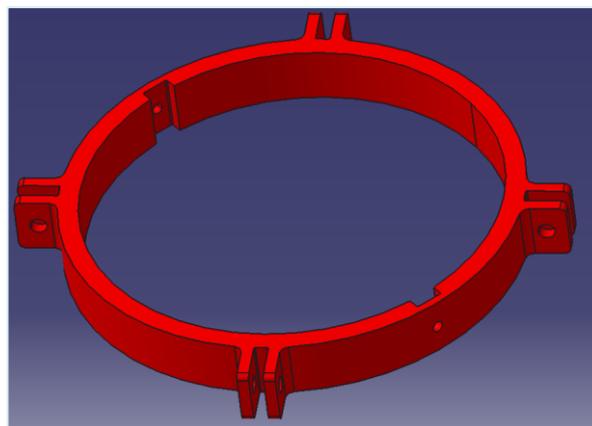


Figure 17 Bague de fixation / réglage ailerons

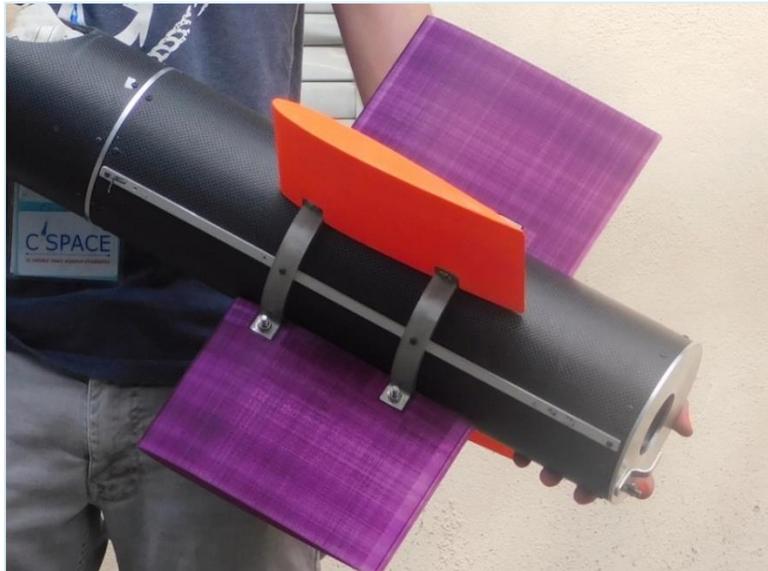


Figure 18 Système de fixation ailerons lanceur

Ici, on peut voir que les rails (le 2^e est bien derrière) tiennent sur les bagues aux extrémités du tube propulseur. On peut aussi voir que les bagues (rouges sur la CAO) tiennent les 4 ailerons et viennent se fixer aux rails par des vis. Une gorge de forme rectangulaire dans les bagues (rouges sur la CAO) leur permet de translater lorsque l'on desserre les vis.

1.5.4. Dimensionnements et vérification de la tenue mécanique par éléments finis

D'abord, il a fallu identifier les efforts qui s'appliquent sur les 4 ailerons et leurs fixations. Ils ont été calculés à partir des tests réalisés sur la fusée (principalement MEC 3, 4 et 5 – cahier des charges fusex v2.2) et des caractéristiques du vol (accélération maximale par exemple).

Le matériau des différentes pièces de l'assemblage est l'aluminium (dont la résistance élastique est comprise entre 90 et 440MPa).

Le logiciel Catia a été utilisé pour modéliser des pièces de différentes tailles, puis leur appliquer les efforts définis précédemment.

Les dimensions retenues sont les premières qui permettent de ne pas dépasser 90 MPa (un coefficient de sécurité est tout de même appliqué mais l'idée est de garder un bon compromis avec la masse).

2. Stabilité du lanceur (1^{er} étage)

2.1. Cahier des Charges

Les ailerons devront répondre aux critères suivants :

- Garantir la stabilité aérodynamique de la fusée
- Résister aux contrôles pré vol MEC4 et MEC5 (cahier des charges fusex v2.2)
- Etre facilement démontables
- Etre facilement réglables en hauteur (développé dans le paragraphe précédent)
- Etre aussi légers que possible

2.2. Solution technique

Après un trade-off il fut décidé d'équiper Stimulus d'ailerons profilés plus efficaces que des plaques planes. Cela permet de réduire la surface de référence des ailerons tout en assurant la stabilité. **Ce document a pour but de justifier l'emploi d'une surface de référence inférieure à la surface indiquée par StabTraj'.**

On détaillera les études effectuées, les résultats obtenus ainsi que les choix que nous avons faits.

Conditions de vol :

Vitesse :	$V_{\min} = 22,3 \text{ m/s}$	$V_{\text{moy}} = 50 \text{ m/s}$	$V_{\max} = 113 \text{ m/s}$
Incidence :		$\alpha_{\text{moy}} \approx 4^\circ$	$\alpha_{\max} = \text{env } 8-9^\circ$

Les différents nombres de Reynolds rencontrés au cours du vol ont été considérés : en sortie de rampe, à vitesse maximale, en « vol de croisière ». De plus, grâce à une estimation des vents réels et relatifs vu par *Stimulus*, les durées moyennes pendant lesquelles le lanceur rencontrera chaque incidence ont été obtenues. L'incidence moyenne a été calculée en pondérant les incidences par le temps moyen pendant lequel elles seront rencontrées : $\alpha_{\text{moy}} \approx 4^\circ$.

NB : Les valeurs des vitesses sont issues de *Stab Traj*.

2.2.1. Dimensionnement

StabTraj' a tout d'abord été utilisé pour déterminer une configuration stable avec des ailerons en plaques planes de forme rectangulaire puisque c'est la forme qu'auront les ailerons profilés. Avoir une flèche nulle simplifie la fabrication des profilés. Il faut être vigilant car le lanceur doit être stable avec et sans charge utile (Cf le StabTraj Matriochka qui comporte 2 feuilles).



Ailerons		01/06/2016			
Mono-empennage,		Min	Résultats		Max
Emplanture 'm'	220 mm	Finesse	10	21,1	35
Saumon 'n'	220 mm	Portance	15	15,5	40
Flèche 'p'	0 mm	Marge Stat.	2 D	4,65 D	5,25 D
Envergure 'E'	170 mm	Couple	40	71,9	81,1
Epaisseur	3 mm	XCp	2365 mm		
Nombre	4	MS /L	22% L	25% L	
Position du bas	2845 mm	STABLE			

Commentaire libre :

[Stabilito avec Réflex](#) /
 [Stabilito sans Réflex](#) /
 [Valeurs Tampons](#) /
 [Trajecto](#) /
 [Courbes](#) /
 [Calculs](#) /
 [Prop](#)

Figure 19 Extrait de StabTraj. Les 2 feuilles affichent Stable

On obtient ainsi des ailerons de **220mm d'emplanture** et de **170mm d'envergure**, soit une surface de stabilité de référence de $S_{pp} = 0,22 * 0,17 = 0,0374 \text{ m}^2$.

Outre la forme rectangulaire à conserver, il faut également que les 2 types d'ailerons **aient la même emplanture** pour qu'ils soient **aérodynamiquement équivalents** → **l'emplanture du profilé est donc fixée à 220mm**. Ceci n'est en fait pas exactement vrai car nous ne prenons pas en compte l'influence de la couche limite due à la proximité du fuselage. Cependant d'après Pascal Denis, professeur de mécanique des fluides à l'ESTACA et ingénieur à l'ONERA, ce sont des éléments qui peuvent être négligés au vu des dimensions et des conditions de vol.

⇒ Il reste maintenant à choisir un profil d'aile symétrique, à connaître le C_z de ce profil et d'en déduire ainsi la surface de référence à associer à ces nouveaux ailerons.

Pour ce faire, la base de données *Airfoiltools* est utilisée. Il s'agit d'un site internet (www.airfoiltools.com) qui recense les données de 1636 profils. Ces données sont intégralement issues des simulations de CFD effectuées par l'UIUC (University of Illinois Urbana-Champaign) depuis les années 90. La pertinence de ces résultats et la confiance que l'on peut y accorder ont évidemment été vérifiées. Il existe aujourd'hui 5 volumes publiés par l'UIUC, téléchargeables gratuitement, et ceux-ci font apparemment preuve de référence.

Une étude comparative poussée des caractéristiques de 20 profils différents a été effectuée. Les coefficients de portance pour différentes incidences et différents nombres de Reynolds ont été principalement pris en compte mais aussi la trainée induite et la facilité à draper de la fibre de carbone sur le profil. Le profil *HT08-il* était initialement privilégié car c'est un profil peu épais qui ne traîne pas beaucoup plus qu'une plaque plane mais c'est finalement le profil NACA 0009-sm qui sera retenu pour son C_z supérieur.



Figure 20 Profil HT08-il

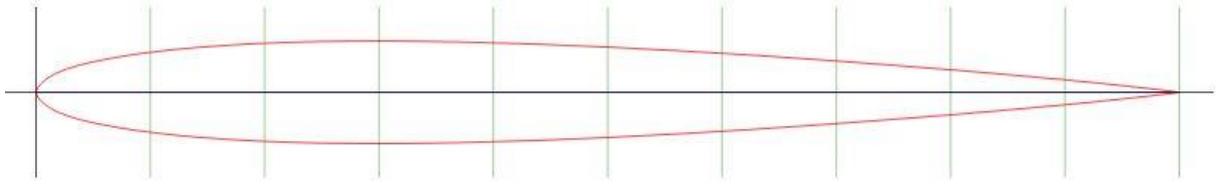


Figure 21 Profil NACA 0009-sm

Le dimensionnement consiste ensuite en une étude aérodynamique analytique. Le C_z du NACA 0009-sm (obtenu grâce aux informations de la banque de donnée *Airfoiltools*) a été comparé à celui d'une plaque plane (obtenu grâce à la formule théorique $C_{z_{pp}} = 2 \cdot \pi \cdot \alpha$ qui est assez précise pour des incidences restant faibles).

Les résultats sont visibles dans le tableau suivant :

Angle of Attack	Flat Plate Theory (Kutta Joukowski)	AirfoilTools data : NACA 0009-sm (Re = 10 ⁶)	Différence relative Czprofilé/CzPP
Degrés	$C_{z_{pp}} = 2 \cdot \pi \cdot \alpha$	$C_{z_{profilé}}$	Δ (%)
0,0	0	0	0
0,5	0,0548	0,0475	-13,4
1,0	0,1097	0,0986	-10,1
1,5	0,1645	0,1590	-3,3
2,0	0,2193	0,2244	2,3
2,5	0,2742	0,2884	5,2
3,0	0,3290	0,3556	8,1
3,5	0,3838	0,4200	9,4
4,0	0,4386	0,4882	11,3
4,5	0,4935	0,5540	12,3
5,0	0,5483	0,6245	13,9
5,5	0,6031	0,6886	14,2
6,0	0,6580	0,7336	11,5
6,5	0,7128	0,7734	8,5
7,0	0,7676	0,8195	6,8



7,5	0,8225	0,8619	4,8
8,0	0,8773	0,9064	3,3
8,5	0,9321	0,9483	1,7
9,0	0,9870	0,9883	0,1

Pour rappel, l'incidence rencontrée en vol par la fusée est comprise entre 0 et environ 9° avec une moyenne à 4°.

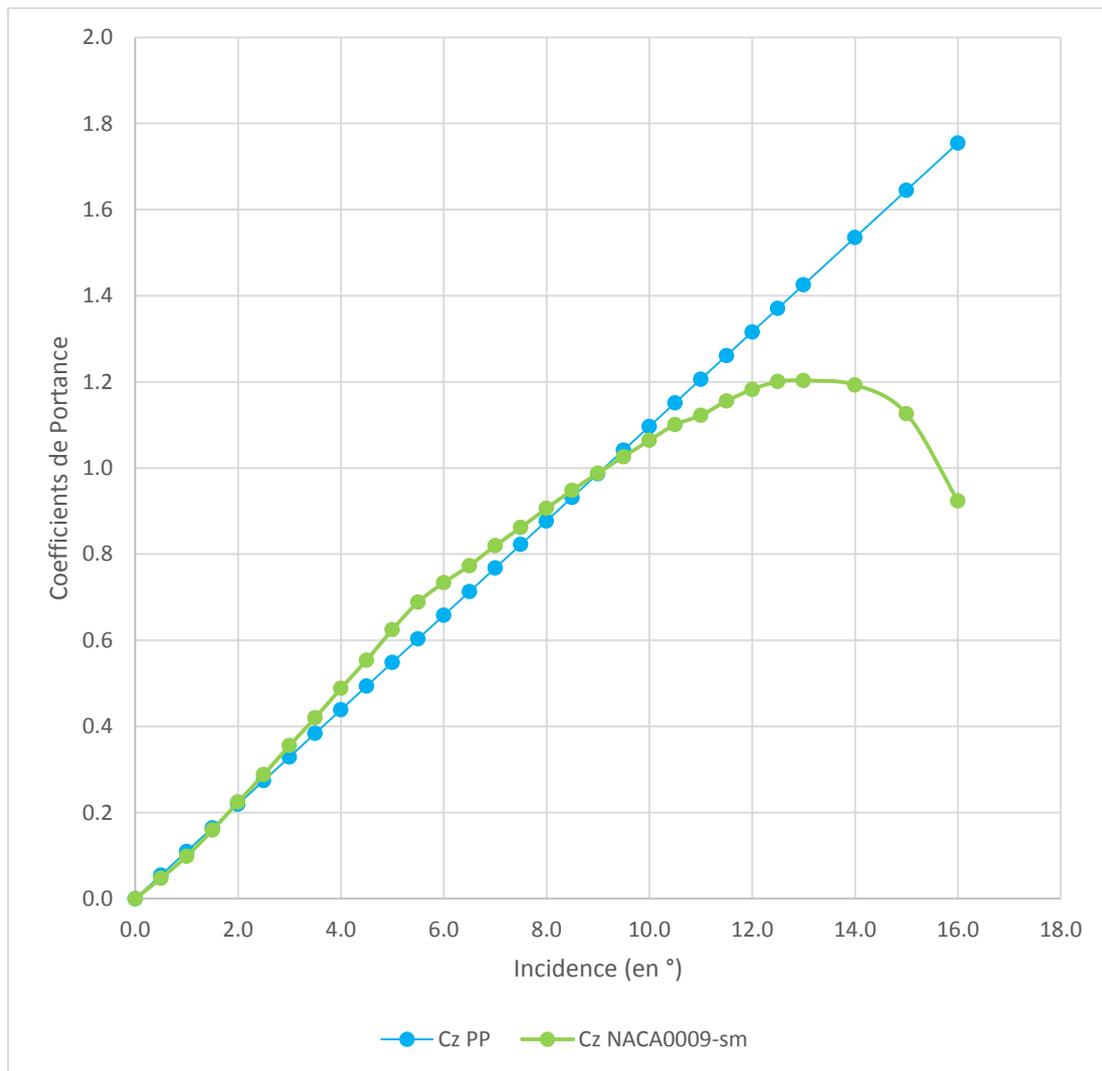


Figure 22 Graphe obtenu à partir des données du tableau précédent

D'après les données recensées dans le tableau ci-dessus, la différence relative moyenne de Cz entre le profil sélectionné et une plaque plane est de 11,3% à l'incidence moyenne, ce qui conduit à réduire la surface projetée de l'aileron profilé de 11,3% par rapport à la surface en plaque plane donnée par Stab-Traj (afin que les deux types d'ailerons développent la même force de portance).

Pour rappel, la surface de stabilité de référence donnée par StabTraj est de 0,0374 m² par aileron en plaque plane. On a donc comme surface par aileron profilé :

$$S_{\text{profilé}} = S_{\text{pp}} / 1,113 = 0,0374 / 1,113 = 0,0336 \text{ m}^2$$

L'emplanture étant conservée à 22cm, on aura une envergure de 15,27cm.

2.2.2. Procédé de fabrication

Etant données la forme et les dimensions de ces ailerons profilés, il est évident que l'utilisation de l'aluminium est à proscrire pour une fabrication manuelle. Il fut initialement envisagé d'utiliser une combinaison de matériaux composites et d'une structure plastique. La forme du profil aurait été donnée par la structure plastique imprimée en 3D par notre partenaire : le FabShop, autour de laquelle serait drapée une structure en carbone devant reprendre la quasi-totalité des efforts appliqués aux ailerons.

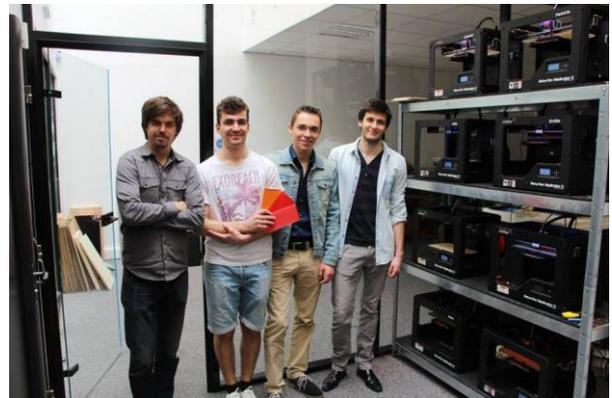


Figure 23 : le pôle aileron au Fab Shop



Figure 24 1er test de drapage de fibre de carbone autour d'un profilé en plastique

Malheureusement la finesse des profilés ne permettait pas d'arriver à un résultat de drapage satisfaisant.

Une réflexion naquit alors : la structure plastique ne pourrait-elle pas à elle seule reprendre les efforts ? La conception fut donc revue : la densité du nid d'abeille interne fut augmentée et la fixation améliorée. Des tests mécaniques ont finalement confirmés que les ailerons pur plastique étaient en fait suffisamment solides.



Figure 25 Ailerons profilés imprimés 3D et leurs bagues de fixation

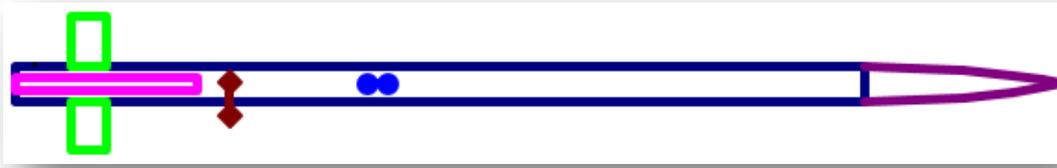


Figure 26 Position des ailerons le long du lanceur

Une caméra a été installée juste au-dessus des ailerons lors du vol afin de visualiser leur comportement.

3. Structure de Reflex (deuxième étage)

3.1. Partie haute : Ogive et tube supérieur

L'ogive en fibre de verre est assemblée via une bague en aluminium sur un tube en fibre de carbone. Le volume utile de ces éléments permis de loger une caméra embarquée, qu'un localisateur GPS ainsi qu'un lest indispensable à la stabilité de Reflex.

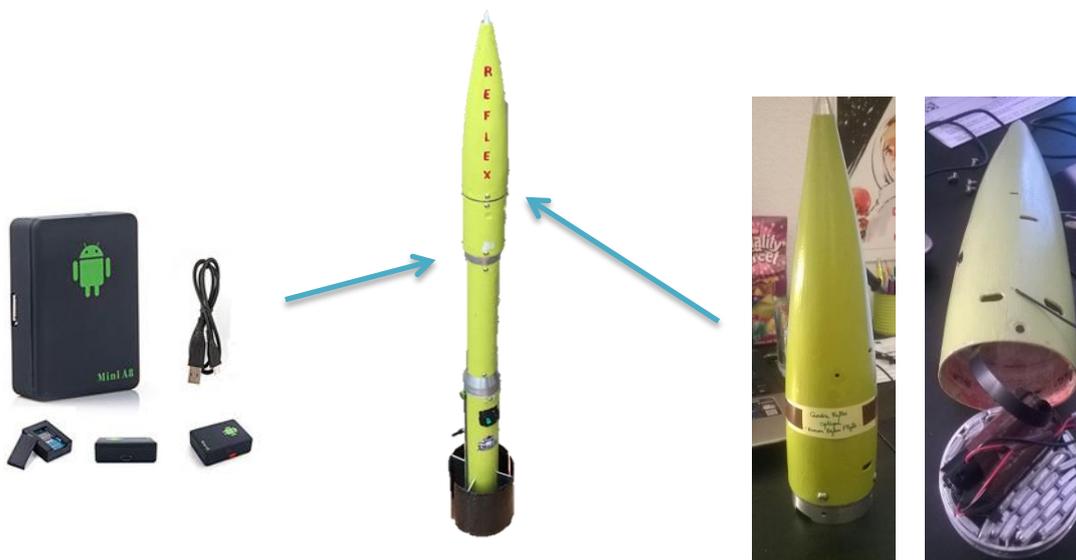


Figure 27 Tracker GPS
(non utilisé lors du C'Space)

Figure 27 Architecture Reflex

Figure 28 Intégration de la caméra Reflex

3.2. Partie basse : Système de récupération

Le tube de plus faible diamètre contient le parachute et son accastillage dans deux coquilles et le ressort d'éjection. Ce tube est en fibre de carbone et les bagues sont en aluminium.

Le tube du bas, également en fibre de carbone, contient la carte électronique de récupération et sa carte de mise en œuvre ainsi que le vérin pneumatique fermant la séparation transversale. Au bas de ce tube se trouvent la bague de poussée et les fixations des ailerons.

3.2.1. Dimensionnement de la séparation à billes

Le système complet est constitué d'un ressort, de 3 billes de 8mm de diamètre, de 3 bagues reliées entre elles par ces billes, auxquelles on ajoute deux bagues supplémentaires qui encadrent les coquilles parachute.

Le corps du vérin est fixé sur la bague principale (en **bleu** sur le schéma ci-contre). La bague conique intérieure (en **vert**) est fixée sur la tige du vérin (non représentée). De cette manière, la mise sous pression du vérin entraîne la montée de la tige, et donc celle de la bague intérieure. Les billes sont alors poussées par cette dernière dans les trous de la bague principale et viennent prendre appui sur la bague extérieure (en **rouge**). Elles sont donc maintenues de part et d'autre de la bague principale. A cet instant la partie basse et la partie haute de la fusée sont reliées.

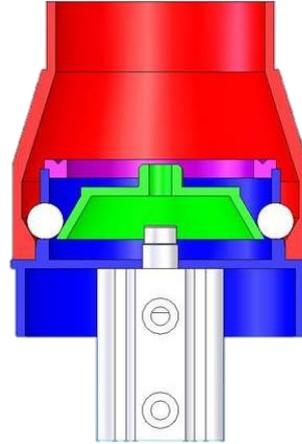
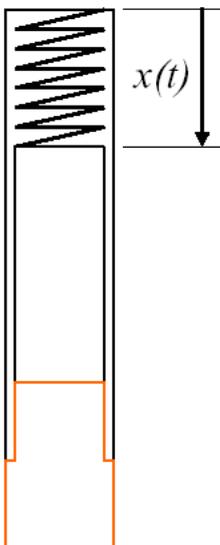


Figure 29 Reflex - Séparation à Billes

Au moment évalué de l'apogée, une électrovanne permet de vider le vérin. Un ressort de rappel (interne au vérin) suffit alors pour redescendre la tige, aidé par le ressort du parachute. La bague intérieure redescend et libère les trois billes. Le ressort situé au-dessus du parachute permet la séparation complète des 2 bagues par l'intermédiaire d'une petite bague en appui sur celui-ci.

Le chargement en air du vérin (non représenté sur le schéma) permet de monter la bague piston et ainsi de maintenir en position les trois billes sur les 2 surfaces coniques. La valeur de l'angle α (inclinaison de ces surfaces) doit être judicieusement choisie de manière à minimiser les contraintes horizontales et permettre un jeu de fonctionnement correct. La valeur choisie est comprise entre 25° et 30°. L'effort F_r exercé sur la bague inférieure par le ressort d'éjection se retrouve réparti sur les trois billes et une petite analyse de statique permet de montrer que, quel que soit l'angle α , le piston du vérin est soumis à un effort vertical qui vaut :



$$\frac{3}{2} \left(\frac{F_r}{3} \right) = \frac{F_r}{2}$$

Le ressort doit exercer une poussée suffisante de manière à ce que les coquilles contenant le parachute soient correctement éjectées. Afin de garantir ce fonctionnement en conditions de vol, le cahier des charges impose une sortie franche des coquilles en soumettant la fusée à la pesanteur suivant son axe longitudinal.

Une simple étude énergétique du système permet d'obtenir la raideur k nécessaire pour satisfaire les paramètres d'éjection.

l_c = longueur du ressort comprimé (m)

l_0 = longueur du ressort à vide (m)

k = raideur du ressort (N/m)

$h = x_{\max}$ (m)

M = masse à éjecter (kg)

$$k = \frac{2Mg(h-l_c)}{(l_0-l_c)^2}$$

3.2.2. Calcul du parachute

Masse de la charge utile *Reflex* : $m=2,5\text{kg}$

On choisit une vitesse de descente assez forte de $Vd = 11.7\text{ms}^{-1}$

$$S = \frac{2 \times g \times m}{R \times Cx \times Vd^2} \Rightarrow \boxed{S = 0.29\text{m}^2} \Rightarrow 269\text{mm} \text{ et } 199\text{mm} \text{ de côté pour un parachute cruciforme.}$$



3.3. Partie basse : intégration cariacou et fixations ailerons



Le *Cariacou* est centré par un plateau en bois et la poussée est reprise via la bague de poussée. Ce plateau en bois est fixé à la bague de poussée par un assemblage sur les ailerons en aluminium. La rétention du moteur se fait via des fils de fer qui seront serrés par le pyrotechnicien.

Reflex dispose également d'une ficelle de rétention permettant au pyrotechnicien de la maintenir lors de l'insertion du moteur. Cette ficelle est à couper dès que le pyrotechnicien n'a plus besoin de manipuler le lanceur. Le détail de cette procédure est au [chapitre 8](#).

Figure 30 Bague poussée avec une partie des fixations ailerons

La poussée du premier étage est reprise, via les ailerons en aluminium, par cette même bague de poussée cariacou. Les mêmes matériaux et technologies utilisés sur le lanceur (peaux en carbone, bagues en aluminium...) ont été utilisés pour toute la charge utile, assurant ainsi la tenue mécanique de l'ensemble lanceur + charge utile pendant la phase de propulsion Pro54 (phase dimensionnante).



Les ailerons sont en deux parties : une première composée de quatre ailerons classiques en aluminium de très courte envergure et sur lesquels est fixée la seconde partie : deux ailerons annulaires en carbone.

La partie classique de l'empennage est assemblée par boulonnage à la bague de reprise de poussée et insérée à force dans la peau du tube immédiatement au-dessus de celle-ci.

Figure 31 Partie classique de l'empennage



La partie annulaire de l'empennage est quant à elle collée sur la tranche des ailerons classiques.

Figure 32 Partie annulaire de l'empennage

4. Stabilité de Reflex (2nd étage)

L'architecture annulaire de l'empennage de *Reflex* a été rendue nécessaire par sa complète intégration à l'intérieur du diamètre du lanceur. En effet, ce diamètre ne laisse pas suffisamment d'espace pour une envergure de minifusée classique. Pour cela un lanceur beaucoup plus gros aurait été nécessaire... *Reflex* a donc un empennage cumulant un empennage classique occupant le volume disponible dans le lanceur et un empennage annulaire fixé dessus.

4.1. Empennage classique de *Reflex*

Il s'agit d'un empennage de minifusée classique à quatre ailerons, à cela près qu'il est de très courte envergure. Il est donc aisé de calculer son apport à la stabilité grâce à Stab/Traj :



STABILITO

Stabilité de fusée à ailerons

Remplir les cases jaunes

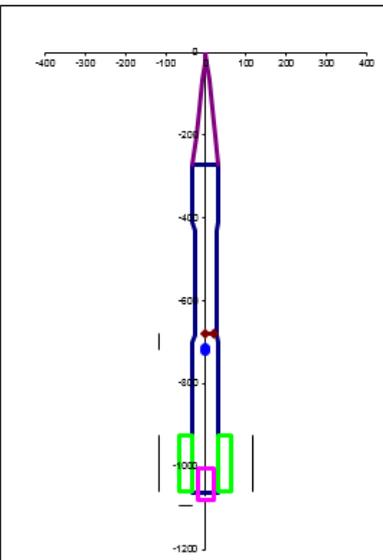
Fusée	
Nom	Reflex
Club	Estaca Space Odyssey
Type	Minifusée;
Masse	2500 g \pm avec propu plein
Centre de Masse	690 mm \pm sans propu
Longueur totale	1062 mm
Diamètre Réf.	65 mm

Propulseur	
Type	Cariacou
Position du bas	1080 mm

Cariacou : Biscarosse 2013 uniquement

Coiffe	
Forme	Conique (droite)
Hauteur	270 mm
Diamètre	65 mm

Ailerons	
Mono-empennage,	
Emplanture 'm'	135 mm
Saumon 'n'	135 mm
Flèche 'p'	0 mm
Envergure 'E'	32 mm
Epaisseur	2 mm
Nombre	4
Position du bas	1060 mm
Diamètre	65 mm



Plusieurs diamètres.			
	Transition A	Transition B	
Longueur 'L'	21 mm	20 mm	
Diamètre 'D1'	65 mm	52 mm	
Diamètre 'D2'	52 mm	65 mm	
Implantation 'x'	410,5 mm	681,5 mm	

	Propu plein	Propu vide	Sans propu
Masse propu	0,22 kg	0,15 kg	-
CdM propu	50 mm	55 mm	-
Masse fusée	2,5 kg	2,43 kg	2,28 kg
CdM fusée	722 mm	713 mm	690 mm

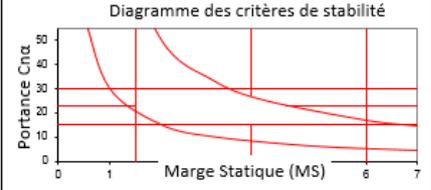
	XCp	Cna
Coiffe	180 mm	2,0
Ailerons	959 mm	2,9

Transition A	421 mm	-0,7
Transition B	692 mm	0,7

10/03/2016	Min	Résultats	Max	
Finesse	10	16,3	20	
Portance	15	4,9	30	
Marge Stat.	2 D	-0,66 D	-0,51 D	6 D
Couple	30	-3,2	-2,5	100
XCp	679 mm			
MS /L	-4% L			
	-3% L			

INSTABLE

Diagramme des critères de stabilité



Checksum : propu OK v3.2

Commentaire libre :

Figure 33 Capture d'écran du Stabilito de l'empennage classique

Cependant, il est tout aussi aisé de voir que cet empennage ne suffit pas à rendre *Reflex* stable et que l'empennage annulaire rajouté à cet effet ne peut être calculé sous Stab/Traj.

4.2. Empennage annulaire de *Reflex*

A l'aide de Stab/Traj, on évalue que l'ajout d'un millimètre d'envergure entre 35 et 36mm (soit l'envergure de l'empennage classique) permet un gain de gradient de portance de 0.1/rad. On peut



donc estimer que les ailerons annulaires apportent un gain de 14.6rad, soit un gradient de portance total (empennage classique + empennage annulaire) de 20/rad par aileron.

Ces calculs étant cependant largement approximatifs, leur but n'est que d'obtenir un ordre de grandeur permettant de réaliser un prototype d'aileron annulaire. Cette configuration a par la suite subi le test de la ficelle afin de vérifier son comportement.

Ce test ayant été satisfaisant, la configuration fut conservée et validée lors du C'Space 2016. Cette configuration est stable pour un centre de masse compris entre 475 et 740mm.

5. Stabilité de l'ensemble haut & bas

Le second étage étant complètement intégré dans le lanceur, la stabilité de l'ensemble du système minifusée + lanceur est directement étudiée dans le chapitre 5, « 2. Stabilité du lanceur » ainsi que dans le *Stab Traj* en annexe 4. C'est justement la configuration particulière de Matriochka qui permet de se délester du problème de stabilité que pourrait engendrer une double rangée d'ailerons.

6. Système de séparation

Le système de séparation permettant d'éjecter la minifusée à partir du lanceur est appelée « *séparation chaude* ». Cette dernière a été détaillée dans le chapitre 5, « Structure du Lanceur ».

Pour synthétiser :

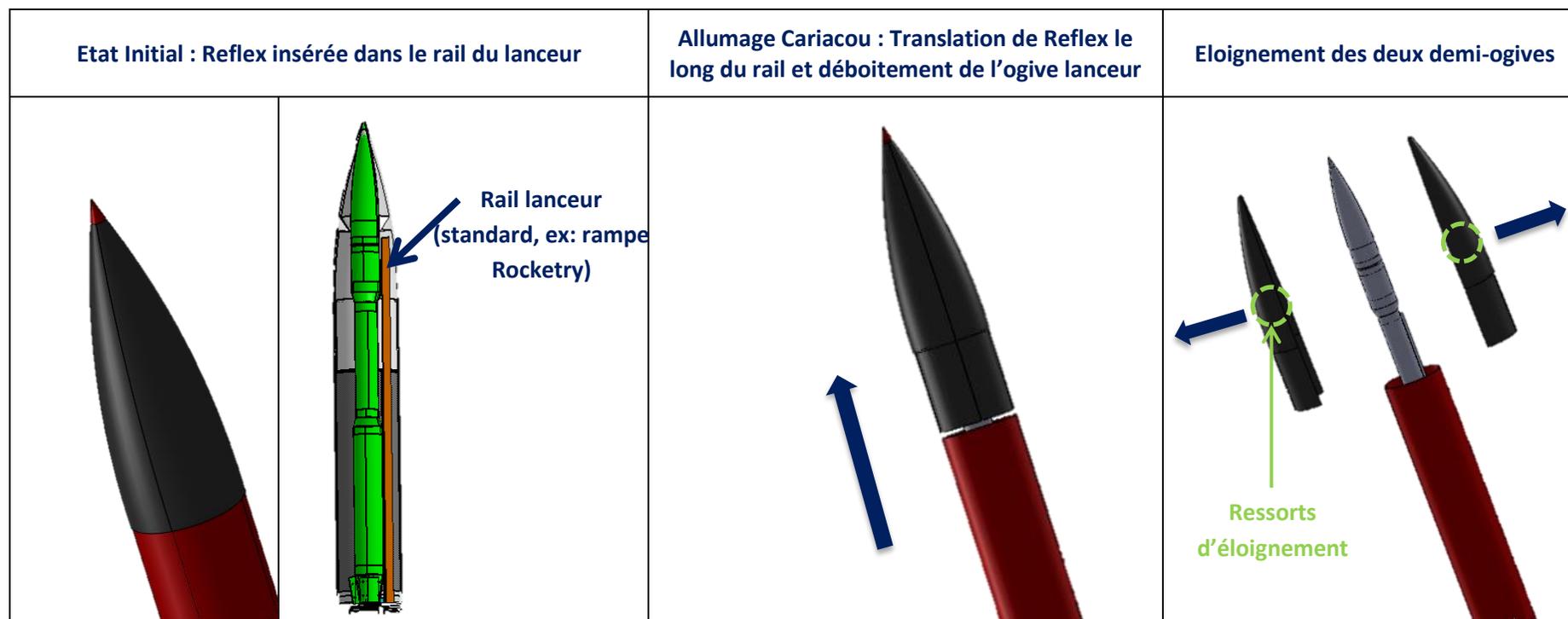
La séparation chaude est un système mécanique / pyrotechnique qui utilise la poussée du moteur de la minifusée selon le procédé suivant :

- 1- Réception de l'ordre de mise à feu
- 2- Allumage Cariacou
- 3- Translation de Reflex le long du rail de l'étage charge utile
- 4- Déboitement de l'ogive
- 5- Ouverture de l'ogive et éloignement des deux demi-ogives grâce à deux ressorts
- 6- Sortie de Reflex
- 7- Les deux demi-ogives sont retenues par deux fils de pêche

Cette séquence est exactement celle de toute fusée mise à feu dans une rampe rail. La seule différence est que la rampe utilisée ici est en vol !

Comme il l'a été expliqué précédemment, ce choix résulte d'une longue étude qui s'est conclue par un compromis entre fiabilité, sécurité et faisabilité. La séparation chaude ne repose que sur un seul actionneur (pyrotechnique) qui a été réalisé par un industriel soit un système nettement plus fiable que n'importe quel système que nous aurions pu concevoir nous-même ! De plus, le cariacou et son système d'allumage sont plus que maîtrisés, offrant ainsi une véritable confiance que ce soit pour l'équipe que pour le pyrotechnicien.





L'intérieur de l'ogive est également adapté particulièrement à la minifusée Reflex grâce à une mousse qui reprend exactement la forme de l'ogive de Reflex. Cette mousse permet ainsi de répartir les efforts entre Reflex et l'ogive lanceur lors de la translation de Reflex mais également de maintenir la minifusée dans une position nominale en pendant le vol en vue de son prochain décollage.

La validation du système sera assurée via deux caméras et les différentes prises de vue depuis le sol. La première caméra embarquée est intégrée directement dans l'ogive de la minifusée Reflex afin de visualiser l'ogive lanceur durant le vol. Une seconde camera fut intégrée dans l'étage thermique du lanceur et orientée vers Reflex afin de visualiser la séparation. Les données de ces deux caméras ont été stockées dans deux cartes SD 64Go de Classe 10 conformément à la datasheet de la RunCam, modèle utilisé dans les deux cas. Les images et vidéos purent être lu aisément sur un ordinateur en lisant directement la carte SD via un adaptateur microSD soit via le câble microSD-USB fourni avec la caméra. Cette caméra étant commercialisée pour les drones, motards, et autre sports extrêmes, sa robustesse quant aux conditions de vol fut admise ainsi que son autonomie durant plusieurs jours.



Pour les deux cartes précédentes, la formule suivante est utilisée afin de connaître le temps de déclenchement du séquenceur :

$$U = E * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$t = -RC \ln\left(1 - \frac{U}{E}\right)$$

$$R = 184k\Omega \text{ (Résistance du circuit RC)}$$

$$C = 47\mu F \text{ (Condensateur du circuit RC)}$$

$$U = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} \text{ (Tension aux bornes du pont diviseur)}$$

$$R_1 = \frac{x}{100} * 100k\Omega \text{ (Résistance entre U et l'alimentation)}$$

$$R_2 = 100k\Omega - R_1 \text{ (Résistance entre U et la masse)}$$

$$E = 12V \text{ (Tension d'alimentation)}$$

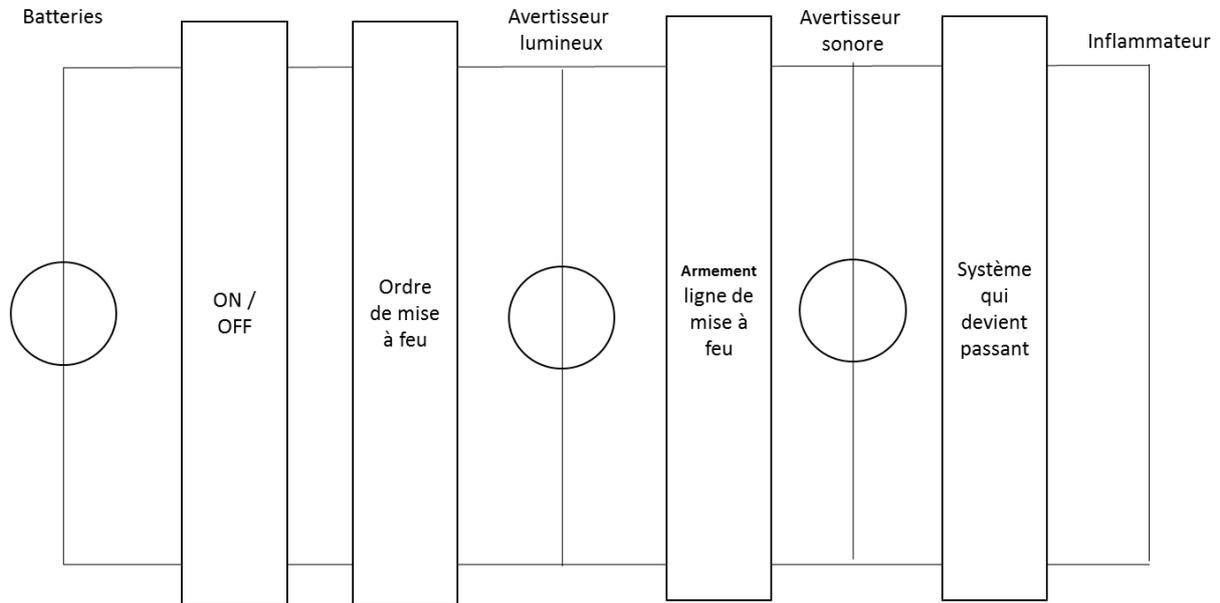
La résistance variable permet ainsi de régler le temps en fonction du Stab/Traj.

On a ainsi un temps de déclenchement de **8.2 s** pour la carte de récupération lanceur, ce qui inclut une marge pour s'assurer que la récupération lanceur ne puisse en aucun cas empêcher la mise à feu. D'autre part, le temps de déclenchement est de **4 s** pour la carte de récupération Reflex. Ces temps sont les durées comprises entre l'arrachage des Jacks, correspondant aux sorties de rampes et la commande envoyée aux actionneurs (ventouse pour la récupération Stimulus et électrovanne pour la récupération Reflex).



3. Carte de Mise à Feu (MAF)

A l'issue du C'Space 2017, voici l'architecture de mise à feu que nous conseillons aux futures bi-étage et au futur cahier des charges dédié :



3.1. Barrière 1 : **ON / OFF**

Des interrupteurs ont été ajoutés pour chacune des batteries ainsi que des DELs sur la carte de mise en œuvre (MEO) afin de vérifier le passage de puissance dans les circuits.

3.2. Barrière 2 : **Ordre de mise à feu**

Suite à l'étude AMDEC et aux discussions avec Planète Sciences et les échanges de mails avec le CNES (février 2016), 4 sécurités ont été mises en place, sécurités de deux types différents.

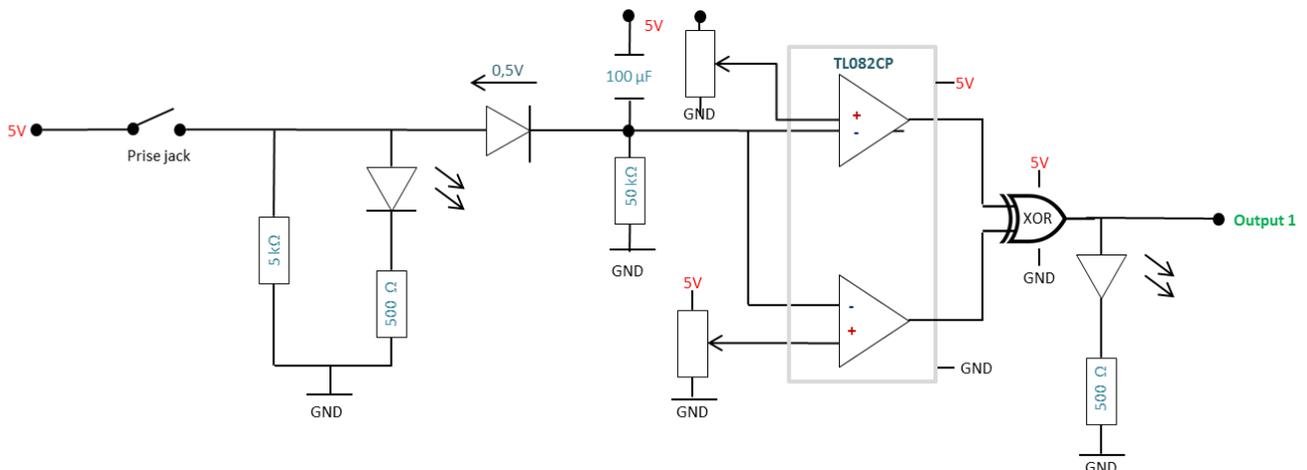
SECURITE 1 - VOL : Fenêtre temporelle

La fenêtre temporelle permet de définir l'intervalle de temps pendant laquelle on peut éjecter Reflex.

Fenêtre temporelle = $[T_{\text{Fin de Poussée Pro 54}} + \text{marge} ; T_{45^\circ}] = [5s ; 8s]$

La fenêtre temporelle ne doit pas commencer trop tôt. En effet, la résistance de l'air s'appliquera sur les pièces d'ogive du lanceur et freinera donc la cinématique d'éjection de la charge utile. Bien qu'il a été vérifié que le Cariatou serait en mesure d'éjecter la charge utile à tout instant de la trajectoire, il paraît indiqué de ne pas tenter une éjection à trop haute vitesse. C'est pourquoi le début de la fenêtre temporelle a été choisi à partir de la fin de poussée théorique du pro 54 ($H0+3.6s$)

La fenêtre temporelle ne doit pas non plus finir trop tard pour deux raisons. Tout d'abord, une éjection trop proche de l'apogée pourrait mener la charge utile sur un vecteur trop proche de l'horizontale. Ainsi, avec une apogée à $H0 + 11.2s$ (STAB TRAJ) l'instant pour lequel l'angle entre l'axe longitudinal du lanceur et le sol passe à moins de 55° est $H0 + 9s$ (STAB TRAJ), considérant donc qu'une éjection passée cet instant engendrerait un risque trop important pour la sauvegarde sol.



D'autre part, plus cette même fenêtre temporelle finit tard, plus elle retarde l'instant de déclenchement de la récupération lanceur. Hors, pour assurer de bonnes conditions de récupération lanceur, il est capital de déclencher celle-ci aussi tôt que possible après l'éjection.

La fenêtre temporelle ne se constitue que d'un seul circuit RC (Résistance-Condensateur), c'est donc une modification par rapport au circuit de l'an passé. En effet, un seul RC est nécessaire, le nœud entre les deux composants est branché sur les bornes négatives des deux AOP. En revanche le potentiel sur les bornes positives issu des résistances variables est différent. Cette différence permet d'avoir deux temps distincts et de réaliser la fonction fenêtre temporelle grâce au XOR.

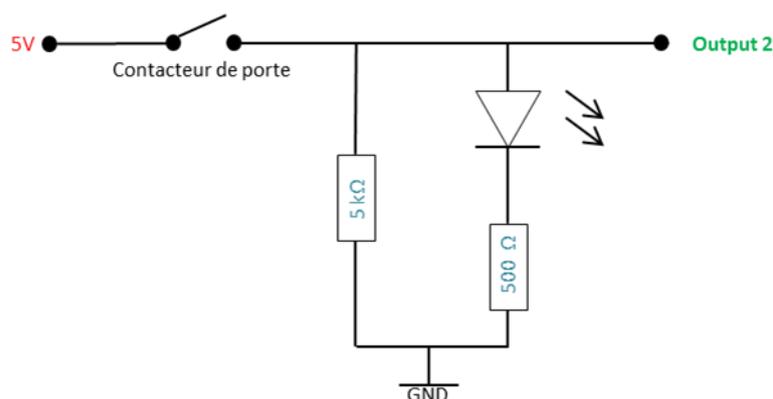
On remarque en entrée du circuit :

- Un pull-down permettant de filtrer d'éventuelles tensions résiduelles captées par le circuit après l'interrupteur lorsqu'il est ouvert ;
- Une Del permettant de vérifier l'état du jack ;
- Une diode permettant d'éviter la décharge du condensateur dans le pull-down et le circuit de la Del.

NOTA : L'AOP est représenté avec une alimentation de 5V et nous l'avons testé avec 4,95V (résultat positif). Toutefois lors du routage sur ISIS, étant donné que 5V est la tension minimale théorique de fonctionnement, on peut le connecter si besoin à la tension Lipo directement (d'où l'intérêt aussi d'avoir une batterie séparée pour la puissance).

SECURITE 2 - VOL : Contacteur de porte

Le contacteur de porte permet de diagnostiquer si la porte latérale de la récupération lanceur est ouverte ou non. En effet, l'ouverture intempestive de la porte latérale entrainerait la sortie du parachute et donc un comportement incertain et donc dangereux du lanceur. Il serait impensable d'autoriser la mise à feu comme il l'a été montré dans l'AMDEC. Le capteur permet dans ce cas d'empêcher la mise à feu. De plus, si la mise à feu ne s'est toujours pas déclenchée avant l'apogée, on pourrait craindre une mise à feu intempestive en phase descendante. Cette configuration étant dangereuse et de criticité trop importante, nous choisissons d'utiliser une carte de récupération complètement indépendante de la mise à feu afin de déclencher le parachute au plus tôt, soit juste après l'apogée théorique du lanceur. Ainsi en phase descendante, le parachute sera déclenché et le capteur attestant désormais que la porte est ouverte, empêchera la mise à feu. Notons que la fenêtre temporelle étant désormais terminée, cette condition est donc une sécurité supplémentaire pour cette phase de vol.



SECURITE 3 - VOL : Intégrale de poussée

Dans le même objectif que la borne basse de la fenêtre temporelle, le système doit autoriser l'allumage du second étage après la fin de poussée du Pro 54. En effet, déclencher une séparation à si basse altitude pourrait être dangereuse pour la sauvegarde sol mais surtout, la vitesse du lanceur et donc la pression aérodynamique exercée sur l'ogive serait beaucoup trop importante et donc gênerait l'ouverture de l'ogive et donc l'éjection de la charge utile. Notons que cette condition est redondée par la fenêtre temporelle. Cette condition avait été utilisée par le projet *Courage* de l'ESO et a été approuvée par le CNES lors de la RCE3 2015.

SECURITE 4 - VOL : Vérification de la bonne attitude du lanceur

Suite à un échange de mails en février 2016 avec Pierre Serin et Nicolas Verdier, il nous a été demandé de vérifier la bonne attitude du lanceur en phase ascendante pour autoriser la mise à feu.

Cette vérification offre deux possibilités techniques :

- Implémenter une centrale inertielle vérifiant in-situ l'attitude du lanceur
- Ou utiliser une radiocommande opérée par le pyrotechnicien au sol et donc utilisant une vérification visuelle et humaine

Cette condition étant arrivée très tard dans le développement du projet, nous n'avions plus les ressources nécessaires à l'utilisation d'une centrale inertielle. A notre grand regret mais pour des raisons de faisabilité nous avons opté pour la radiocommande dans la vision à court terme de voler au C'Space 2016.

La radiocommande étant basée sur la vision humaine et prenant en compte le temps de réaction opérateur, cette solution était clairement une version dégradée de notre carte de mise à feu. Le C'Space 2016 a été l'objet de nouvelles spécifications de la part du CNES mais deux jours avant la fin des contrôles. Devant ces nouvelles exigences arrivant à nouveau bien trop tard et malgré tous les efforts et l'investissement de notre équipe élec et du soutien de Jérôme, le projet n'a pu voler. Nous avons ainsi décidé de reconduire le projet en utilisant l'expérience de ce C'Space et en nous remettant en question sur les choix de conception de cette carte tout en prenant en compte sa faisabilité et son opérabilité.

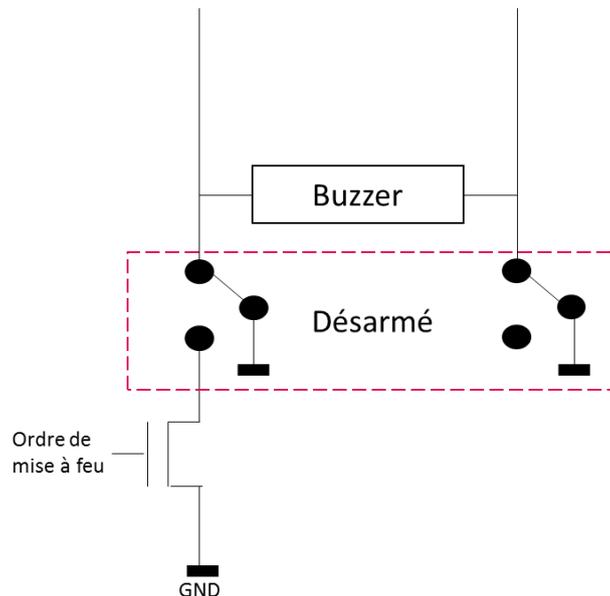
Après recherches, nous proposons désormais une ultime solution technique permettant cette fois-ci de se libérer de ce fardeau qu'est la radiocommande pour enfin utiliser une centrale inertielle.



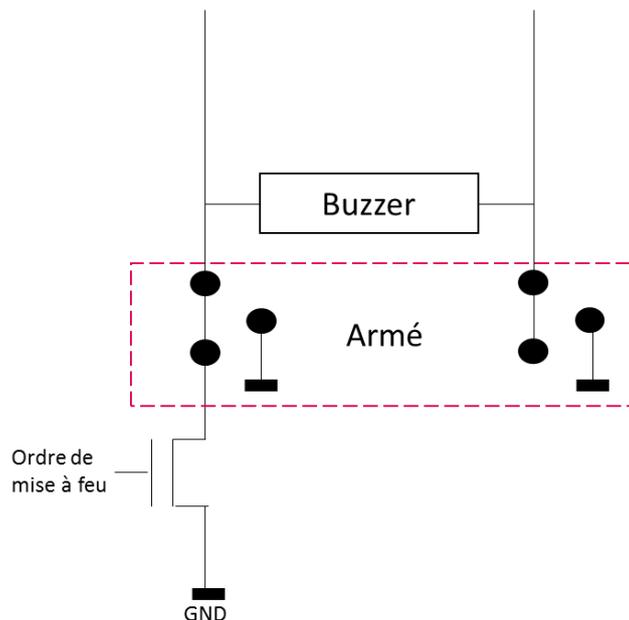
3.3. Barrière 3 : Armement

SECURITE 1 - SOL : Interrupteur d'armement

L'interrupteur double en position OFF permet de relier le circuit de la mise à feu à la masse sur la ligne de distribution de puissance mais également sur la ligne de masse.



Notons également la présence d'un buzzer, alerte sonore en cas de déclenchement de la mise à feu (ce dernier est intégré dans la case électronique, derrière la carte de mise en œuvre). On position ON, voici le schéma :



NOTA : Le transistor MOSFET permet de séparer le circuit de mise à feu du reste de la carte. Notons également que l'alimentation de la ligne de mise à feu est une batterie dédiée uniquement à cette partie de la carte.

Nous pouvons voir que ce schéma ne correspond pas tout à fait au synoptique de mise à feu. En effet, les sécurités en vol passent par une porte logique ET puis par un Mosfet et non par des relais en cascade. Ceci a été décidé par notre équipe lors du C'Space 2016. La justification est qu'il est plus fiable de n'avoir qu'un seul composant, dont la probabilité de défaillance est très faible et serait détectée dans les nombreux tests pré-vol, que plusieurs relais ; ce qui surchargerait la carte, rendant la détection de problèmes éventuels plus compliquée et présenterait une probabilité de défaillance plus élevés due aux plus nombreuses soudures. De plus, en cas de défaillance du transistor, les nombreuses sécurités sol empêcheraient la mise à feu. En effet, lors du passage sur ON de l'interrupteur pyro, le shunt inhibera toujours la mise à feu mais le buzzer pourra sonner si un ordre de mise à feu intempestif est donné.

Cette architecture a été présentée lors du C'Space et acceptée par plusieurs membres de Planète Sciences et du CNES (Romain BORRE, Jérôme HAMM et Pierre SEREIN)

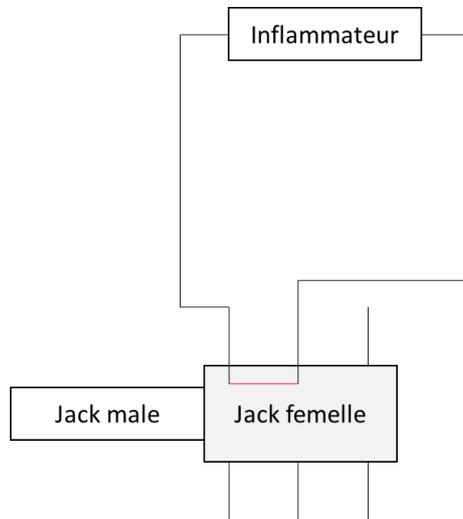


3.4. Barrière 4 : Shunt Pyro

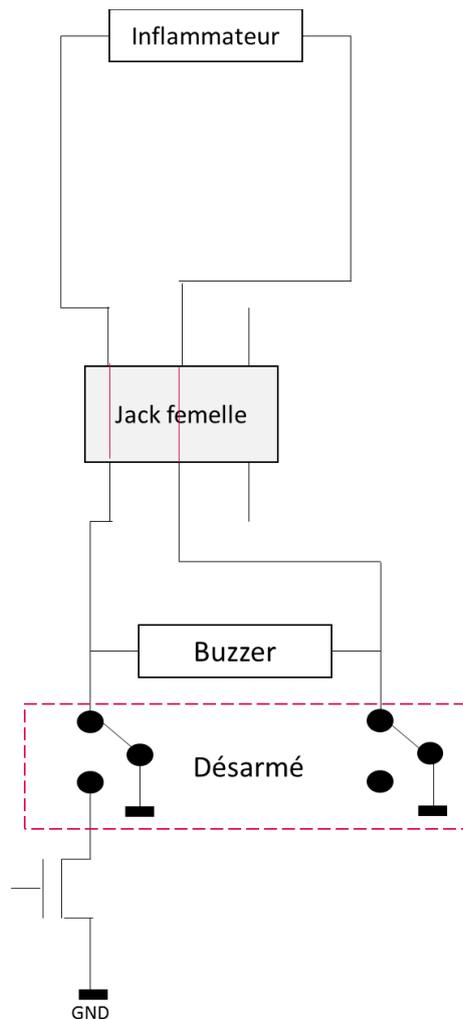
SECURITE 2 - SOL : Shunt Pyro

Le shunt pyro est un fil permettant de mettre en court-circuit l'inflamateur.

Il sera utilisé sous forme de prise jack accompagnée d'une flamme REMOVE BEFORE FLIGHT rouge.



Lorsque le jack mâle est retiré, l'inflamateur est connecté à la mise à feu :



3.5. Synthèse

La carte de mise à feu présentée ici est issue d'une réflexion prenant en compte les conclusions de l'analyse de sécurité du chapitre 4 et l'expérience des conceptions précédentes et surtout des difficultés rencontrées l'an passé sur cette carte. Le but a été de diviser au maximum les fonctions afin de limiter l'impact d'une éventuelle défaillance d'une fonction sur le reste du système. Cependant, rendre indépendante chaque fonction de la carte implique l'utilisation de nombreux composants. Ainsi, le contacteur de porte et la fenêtre temporelle sont mis en œuvre indépendamment de l'Arduino. Cependant, l'intégrale de poussée du Pro 54 et la vérification de l'attitude du lanceur sont deux fonctions réalisées par l'Arduino lui-même. Il aurait été possible de séparer ces deux fonctions soit en utilisant un autre Arduino soit en utilisant un accéléromètre indépendant. Cependant, cela impliquerait l'utilisation de composants supplémentaires et donc apportant chacun leurs risques de défaillances qu'elles soient purement fonctionnelles ou opérationnelles sans compter le risque sur la réalisation. Cette complexification engendrerait également une augmentation du câblage soit un risque supplémentaire. C'est ainsi que l'équipe a abouti au compromis présenté précédemment avec deux fonctions réalisées par l'Arduino. Remarquons que ce composant est industriel, utilisé dans de nombreux projets étudiants que ce soient en fusées expérimentales ou en fusées sondes. Le retour d'expérience disponible est pleinement satisfaisant, un argument supplémentaire dans le choix de cette configuration.

⇒ **La centrale inertielle a été testée dans la fusée à eau de l'ESO.**



4. Alimentation des cartes

CARTE	ALIMENTATION
Récupération Reflex	3 batteries LiPo
Récupération Lanceur	1 batterie LiPo
Mise à Feu	<ul style="list-style-type: none">- 1 batterie LiPo pour le circuit de mise à feu- 1 batterie LiPo pour l'alimentation générale- 1 batterie LiPo pour l'Arduino

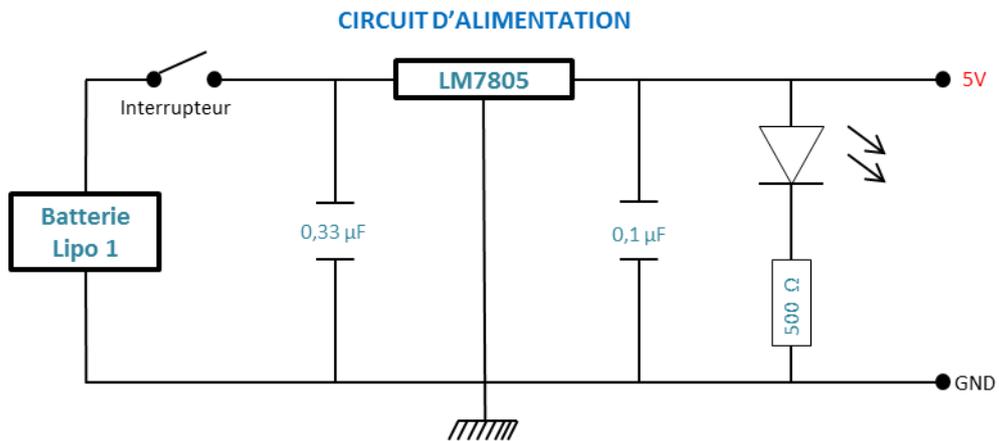


Figure 36 Alimentation MAF

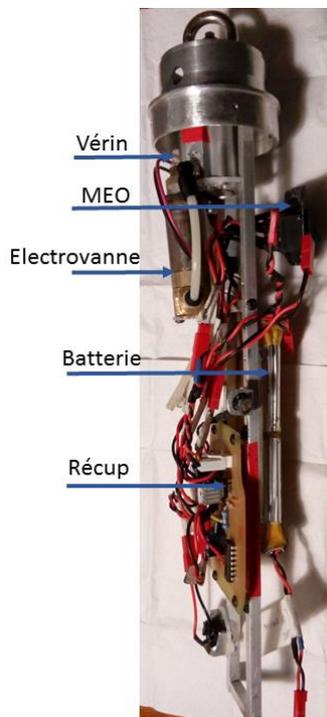
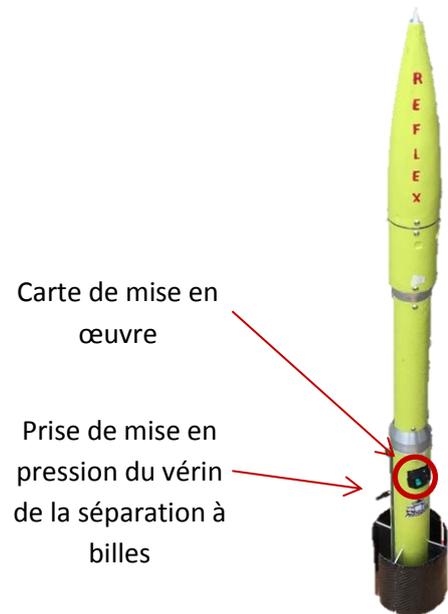
5. Chaîne de télémésure

RAS : Aucune télémésure

6. Interfaces et CEM

6.1. Interfaces Reflex / Opérateur

Concernant Reflex, elle possède une carte de mise en œuvre directement en contact avec la structure. La manipulation est donc aisée lorsque cette dernière est hors lanceur. Pour accéder à l'électronique et non juste à sa mise en œuvre, il faut retirer 4 vis et retirer le rack électronique. Attention aux fils de la carte de mise en œuvre en démontant cependant.



Rack électronique de Reflex



Jack Reflex avec ficelle



Carte de MEO Reflex

6.2. Interfaces Reflex / Lanceur

Une fois positionnée dans le lanceur, certaines opérations nécessitent cependant de manipuler Reflex via les éléments suivant :

- La carte de mise en œuvre de Reflex (opérations en rampe, cf. Chronologie de Vol)
- La prise Jack Reflex (lors du décollage)
- La rétention Reflex (lors de l'insertion du Cariacou)
- La rétention Cariacou (après insertion du Cariacou)
- L'étage Cariacou de Reflex

INTERFACE	SOLUTION	
<p>Carte de MEO Reflex</p>	<p>Percées dans la peau du lanceur pour visualiser les DELS, régler le capteur optique et accéder à l'interrupteur ON/OFF</p>	
<p>Prise Jack Reflex</p>	<p>La prise jack male est nouée à une ficelle (rouge), elle-même accrochée au lanceur via un écrou papillon</p>	
<p>Rétention Reflex</p>	<p>Réalisée via une ficelle (blanche) passant au-dessus des ailerons de Reflex, le pyrotechnicien peut donc tirer cette ficelle pour maintenir Reflex pendant l'insertion du Cariacou – Cette dernière est cependant à retirer (cf. chronologie de vol)</p>	
<p>Rétention Cariacou</p>	<p>Réalisée par un fil de fer aisé à manipuler et à tordre autour de la tuyère</p>	
<p>Etage Cariacou</p>	<p>Le but est de faciliter les manipulations du pyrotechnicien et dans cette configuration cela est aisé puisque le pyrotechnicien peut accéder à cet étage lors des opérations en rampe</p>	

6.3. Interfaces Lanceur / Opérateur

6.3.1. Carte de Mise en œuvre du lanceur



La carte de mise en œuvre se compose de deux parties :

- la première ligne correspond à la carte de mise à feu comprenant :
 - **1 interrupteur à bascule** pour la mise sous tension de la carte de la carte de Mise à Feu (MAF) et de l'Arduino
 - **1 interrupteur à bascule** pour l'armement de la carte de mise à feu
 - **1 DEL VERTE** correspondant à la mise sous tension de la carte de MAF
 - **1 DEL VERTE** correspondant à la mise sous tension de l'Arduino
 - **1 DEL BLEU** correspondant à l'état du Jack de la carte de MAF
 - **1 DEL ROUGE** correspondant à la fenêtre temporelle
 - **1 DEL ROUGE** correspondant à la détection de fin de poussée du Pro 54
 - **1 DEL BLANCHE** correspondant à l'état de la centrale inertielle (lorsque la DEL est allumée cela signifie que l'attitude du lanceur est ok pour permettre l'allumage du second étage)
 - **1 DEL JAUNE** correspondant au contacteur de porte (l'état allumé signifie que la porte est fermée)
 - **1 Buzzer** indiquant le déclenchement de la séquence de mise à feu

- La seconde ligne correspond à la carte de récupération :
 - **1 interrupteur à bascule** pour la mise sous tension de la carte
 - **1 DEL VERTE** correspondant à la mise sous tension de la carte
 - **1 DEL BLEU** correspondant à l'état du Jack

6.3.2. Aménagement de la case électronique

La case électronique est composée de trois parties :

- La mise en œuvre, décrite précédemment ;
- La zone élec avec les électroniques : récupération lanceur et mise à feu ;
- La zone puissance avec les batteries.

Tous les connecteurs directement liés à la carte seront désormais des connecteurs de type VGA, XT60 pour les batteries ou JST pour les autres.



Figure 37 Connecteur VGA

- ➔ Carte de Récupération Lanceur – MEO
- ➔ Carte de MAF – MEO



Figure 38 Connecteur XT60

- ➔ Carte de Récupération Lanceur – Batterie
- ➔ Carte de MAF – Batterie



Figure 39 Connecteur JST

- ➔ Carte de Récupération Lanceur – Ventouse
- ➔ Carte de Récupération Lanceur – Jack
- ➔ Carte de MAF – Jack
- ➔ Carte MAF – Contacteur de porte

Les deux cartes elles-mêmes seront insérées dans la case élec via une trappe latérale vissée sur le lanceur. Cette partie est en cours d'optimisation, en voici une CAO :



La partie puissance quant à elle comprend les batteries intégrées dans de la mousse fixée à la bague en aluminium jouant le rôle d'interface entre la case élec et la case récupération. C'est également dans cette zone que les deux prises jack sont intégrées.

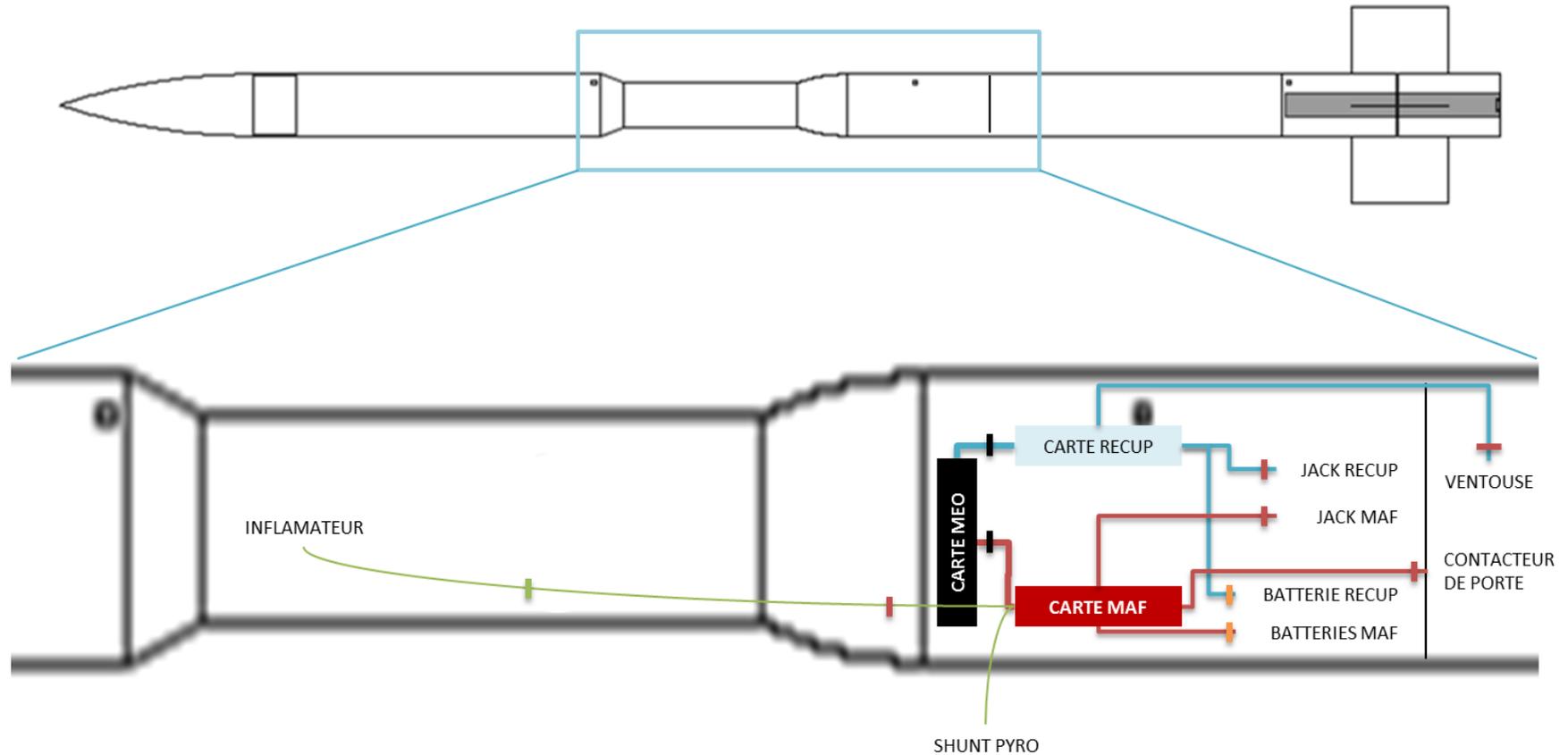
6.3.3. Emplacement de l'inflamateur

L'inflamateur du Cariacou est mise en place grâce à des connecteurs WAGO au niveau des tiges filetées. On est donc en dehors de la case électronique. Deux wagos ont été mis, un pour chaque connexion de l'inflamateur.



Figure 40 : Connecteur WAGO

6.3.4. Plan de câblage du lanceur



- Connecteur type SUB-D
- Connecteur XT60
- Connecteur JST
- Connecteur rapide pour l'inflamateur (connecté par le pyro)

SHUNT PRYO = Prise Jack Mâle à retirer par le pyro



Chapitre 7 : Conception logiciel

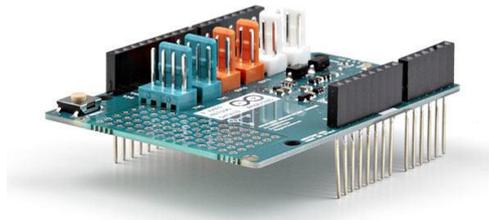
La conception des sécurités n°2 (Intégrale de Poussée) et n°4 (Vérification de l'attitude du lanceur) sur la carte de mise à feu requiert la présence de calculateurs. Ce chapitre spécifie les équipements, les algorithmes et fait suite à la conception électronique.

1. Hardwares

Arduino 101 : Doté d'un processeur Intel, cette version de l'Arduino est le successeur de l'Arduino Uno. Il nous a intéressé pour la présence de 3 accéléromètres et 3 gyromètres. À partir de la mesure des accéléromètres, nous avons réalisé l'intégrale de poussée.



Shield NaxisMotion : Le Shield est doté d'un microcontrôleur, de trois accéléromètres, 3 gyromètres, 3 magnétomètres (AHRS 9dof fabriqué par Bosch). Il hybride les 9 mesures afin de calculer les attitudes et renvoie ses informations en I2C à l'Arduino 101.



Shield d'Enregistrement : Il enregistre les valeurs des capteurs, les attitudes, le temps et les orientations du lanceur (espace de 2 Go). Le Shield communique en SPI avec l'Arduino 101.



2. Algorithmes

2.1. Repère

Le trièdre terrestre étant un repère fixe à la Terre :

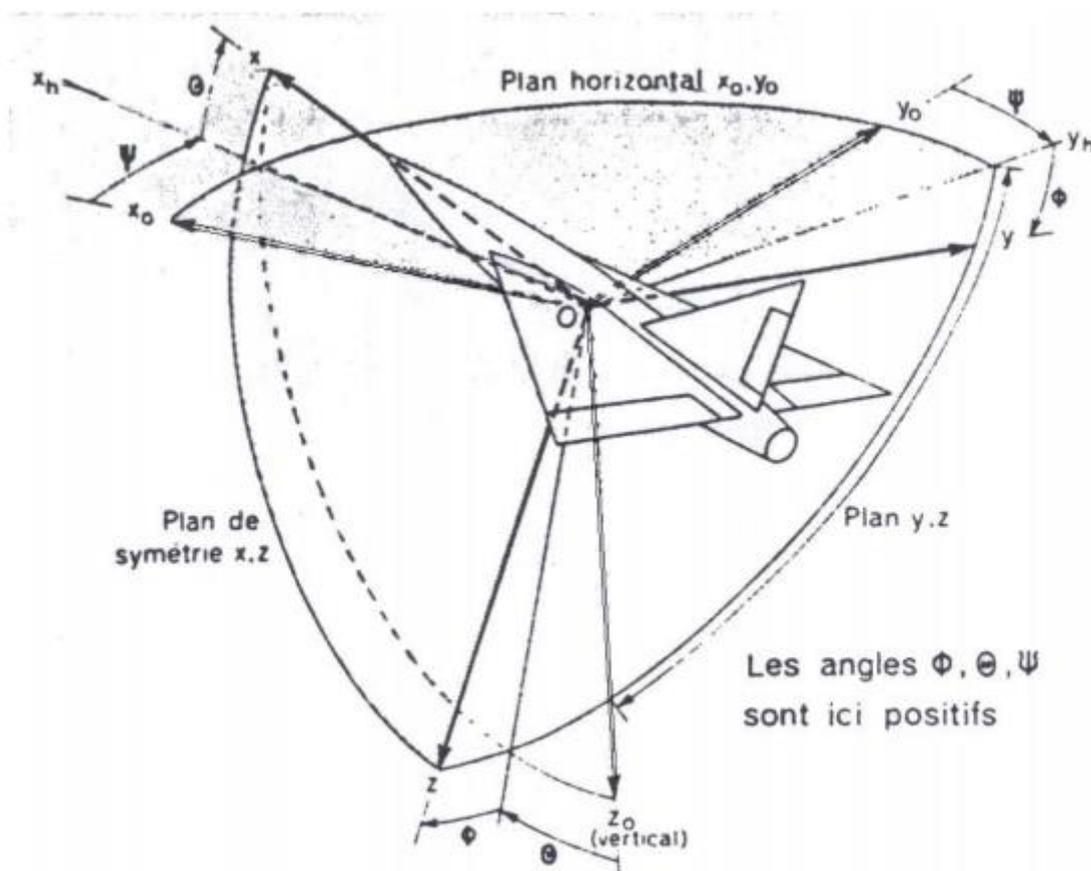
- O : Origine fixe par rapport à la Terre définie sur la rampe de la fusée
- X_0 et Y_0 : Définies dans le plan horizontale
- Z_0 : Orienté positivement vers le ventre de l'avion

Ce repère ne doit pas être confondu au trièdre normal terrestre défini sur un point de l'avion (généralement au centre de gravité).

Le trièdre avion lié à la fusée dans notre cas :

- O : Origine du repère considéré comme étant le centre de gravité
- X : Axe longitudinal orienté vers l'avant du véhicule
- Y : Orienté vers la droite afin de compléter le trièdre local
- Z : Orienté positivement vers le ventre de l'avion

Le repère aérodynamique ne sera pas considéré dans notre étude.

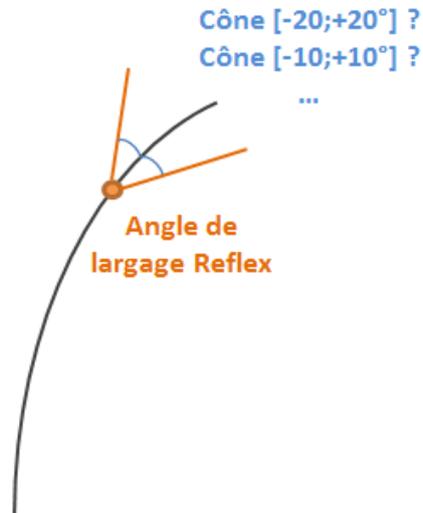


Les angles d'attitude définissant l'orientation du module inertiel embarqué par rapport au repère terrestre choisis sont les suivants :

- ϕ : Le roulis
- θ : Le tangage
- ψ : Le cap

2.2. Vérification d'attitude

Le but de la vérification est de vérifier l'attitude de Stimulus. Plus précisément, le lanceur doit être dans un cône de tir déduit de l'assiette que nous autorisons et en tenant compte de la précision des orientations obtenues. Voici un exemple :



Après discussion à la RCE n°3 en 2017, nous avons convenu la méthode suivante utilisant le tangage et le lacet du module inertiel (Cette méthode a été testée et permet bien de définir un cône de la précision souhaité) pour trouver l'inclinaison de la fusée :

$$\text{inclinaison} = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)^2 + \psi^2}$$

2.3. Intégrale de poussée

Formulation du problème :

En appliquant le bilan des efforts en phase de montée dans le trièdre avion nous avons :

$$\overline{\Sigma F_{ext}} = m \times \overline{\gamma}$$

$$\overline{Propu} + \overline{Trainée} + \overline{Poids} = m \times \overline{\gamma}$$

$$\overline{Propu} + \overline{Trainée} + m\overline{g}R = m \times \overline{\gamma}$$

La connaissance des orientations permet de déterminer une matrice de rotation R permettant de passer du trièdre terrestre au repère avion :

$$R = \begin{pmatrix} \cos(\psi)\cos(\theta) & \sin(\psi)\cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ -\sin(\psi)\cos(\varphi) + \cos(\psi)\sin(\theta)\sin(\varphi) & \cos(\psi)\cos(\varphi) + \sin(\psi)\sin(\theta)\sin(\varphi) & \cos(\theta)\sin(\varphi) \\ \sin(\psi)\sin(\varphi) + \cos(\psi)\sin(\theta)\cos(\varphi) & -\sin(\varphi)\cos(\psi) + \sin(\psi)\sin(\theta)\cos(\varphi) & \cos(\theta)\cos(\varphi) \end{pmatrix}$$

En projetant les forces sur l'axe longitudinal de la fusée (trièdre avion) et en connaissant le tangage θ nous obtenons :

$$\text{Propu} - \text{Trainée} - mg \times \sin(\theta) = m \times \gamma$$

$$\text{Propu} - \text{Trainée} = m \times (g \times \sin(\theta) + \gamma_x)$$

$$\int (g \times \sin(\theta) + \gamma_x) dt = \frac{1}{m} \int (\text{Propu} - \text{Trainée}) dt$$

Cependant l'accéléromètre sensible à l'axe longitudinal de la fusée ne mesure pas une accélération mais la force spécifique :

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_z \end{pmatrix} + R \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}$$

Finalement nous pouvons donc déduire les accélérations de la formule suivante :

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_z \end{pmatrix} + g \begin{pmatrix} -\sin(\theta) \\ \sin(\phi)\cos(\theta) \\ \cos(\phi)\cos(\theta) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_z \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix} + g \begin{pmatrix} -\sin(\theta) \\ \sin(\phi)\cos(\theta) \\ \cos(\phi)\cos(\theta) \end{pmatrix}$$

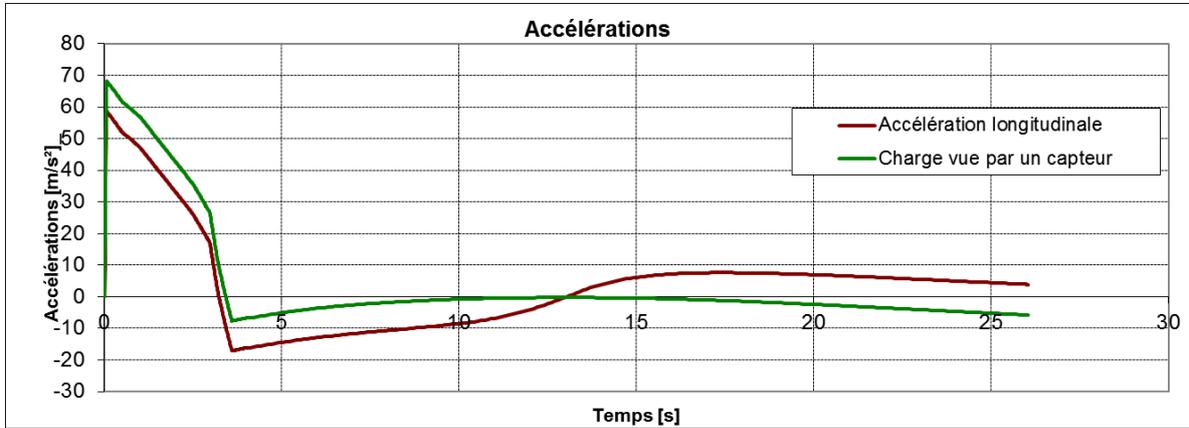
Désormais, voici la formule corrigée avec les mesures directes de l'accéléromètre :

$$\int (-f_x) dt = \frac{1}{m} \int (\text{Propu} - \text{Trainée}) dt$$



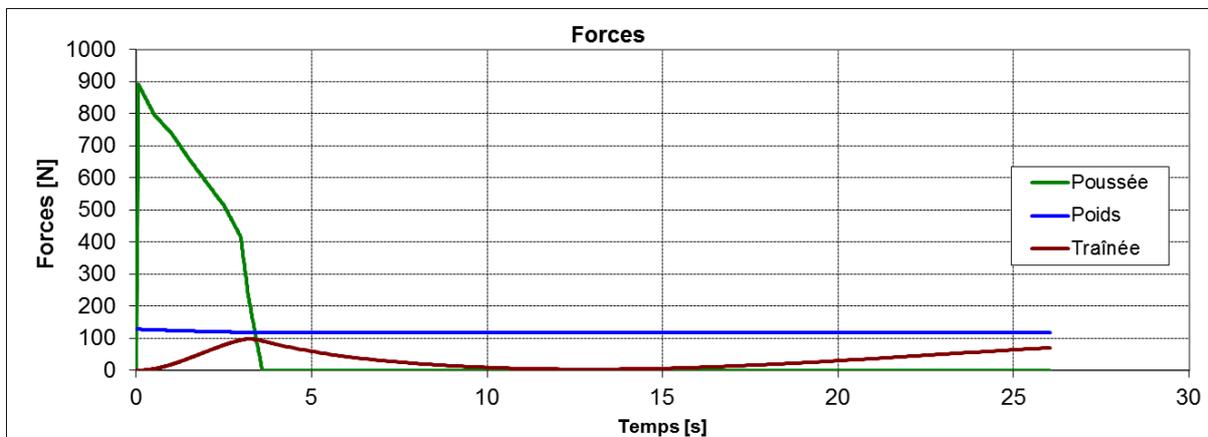
Calcul du seuil de poussée :

D'après la courbe StabTraj, l'accélération maximale perceptible par un capteur est de l'ordre de 70 m.s⁻¹ soit environ 7g. L'accéléromètre de l'arduino 101 ne saturera pas puisqu'il permet un fonctionnement jusqu'à 16g.



Le logiciel doit détecter le franchissement d'un seuil théorique (instant à partir duquel le Pro54 entre en fin de poussée). La traînée étant négligeable, on a pris en compte sa valeur moyenne :

$$\int (-f_x) dt > \frac{80\%}{m_{moy}} \times \int (\text{Propu} - \text{Trainée}) dt$$



En reprenant la loi de poussée du Pro54 et l'intégrant sur 80 % du temps de poussée nous déduisons les termes suivants :

$$80\% \times \int (\text{Propu}) dt$$

THEORIQUE	
Durée de poussée nominal (%)	0,8
Démarrage queue de poussée (s)	2,952
Intégrale sur 80% (N.s)	1941,1
Impulsion totale (N.s)	2063
Poussée moy 80% (N)	657,554201



Puis nous effectuons le bilan massique et déduisons la masse moyenne :

BILAN DE MASSE	
Masse fusée sans prop	11,65
Mi pro54	1,685
Mf pro54	0,652
Mmoy pro54	1,1685
Mfusée moy	12,8185

En supposant la trainée moyenne de Stimulus au cours de la montée nous calculons le seuil de poussée à utiliser dans le logiciel afin de basculer l'état de la sécurité (une fois à l'état haut, on revient vient plus à l'état bas) :

Seuil (N.s/kg)	137,612045
----------------	------------



3. Essais en vol

Toutefois la théorie étant souvent différente de la pratique, nous nous sommes posés les questions suivantes :

- *Le calcul temps réel sur une fusée sera-t-il précis ?* En effet, le calcul interne du shield NaxisMotion n'est pas détaillé par le constructeur. Toutefois, il est précisé que les 9 capteurs sont utilisés pour le calcul d'orientation.
- *Comment vérifier l'algorithme de l'intégrale de poussée ?* La conception mathématique et l'utilisation des accéléromètres doit être testé pour être certain de l'algorithme utilisé.

Pour répondre aux exigences nous avons finalement choisit de réaliser un **test de qualification** en intégrant l'avionique sur **une fusée à eau du club**, justement dédié à l'expérimentation de module et d'hardwares.

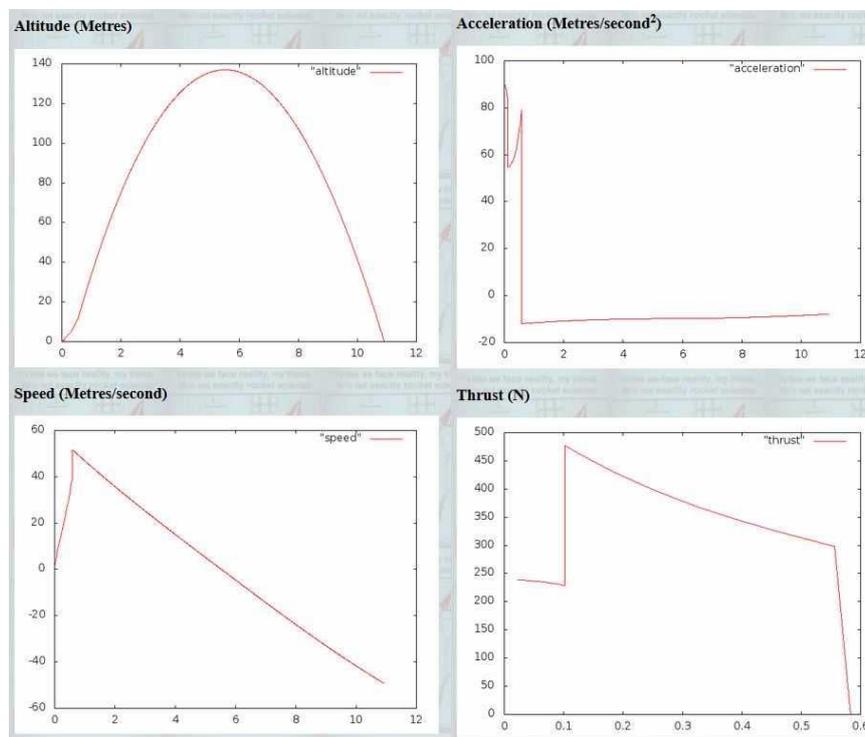
3.1. Plateforme d'expérimentation du club

Nos hardwares ont été placés à la verticale au sein de fusée de test. La fusée a été pressurisée à 12,5 bars avec 4 litres d'eau dans le réservoir (rapport 1/3) et a une masse sèche de 3 kg.



Figure 41 Fusée à eau de l'ESO - 2017

D'après les prévisions logicielles de la fusée à eau, voici les résultats attendus :



Analyse des résultats d'essais en vol

3.2. Résultats des essais

La fusée à eau a été lancée vers la fin du mois de Mai et les résultats ont été présentés à la RCE n°3. La minuterie de la fusée a été réglée sur un temps de 5 secondes. Le vol a été nominal et a duré 20 secondes. L'apogée a été atteinte vers 6,5 secondes.

En analysant toutes les courbes et en faisant le parallèle avec les vidéos, voici le déroulement du vol de la fusée à eau.

Temps (s)	Etat de la fusée
0-0.35	Sortie de la rampe
0.35	Activation de la minuterie avec un temps de 5 secondes environ
0.35-1.15	Pic d'accélération
1.15-1.7	Montée accélérée
1.7	Pic de vitesse à 45 m/s
1.7-4.7	Montée décélérée
4.7-5.7	Montée et début d'inclinaison de la fusée
5.7	Ejection ogivale du parachute et fin de minuterie
5.7-6.7	Fin de montée décélérée avec parachute qui traîne
6.7	Apogée de la fusée
6.7 – 8.3	Début de retombée et déploiement du parachute
8.3 – 20	Descente sous parachute avec oscillation périodique autour de la verticale
20	Impact



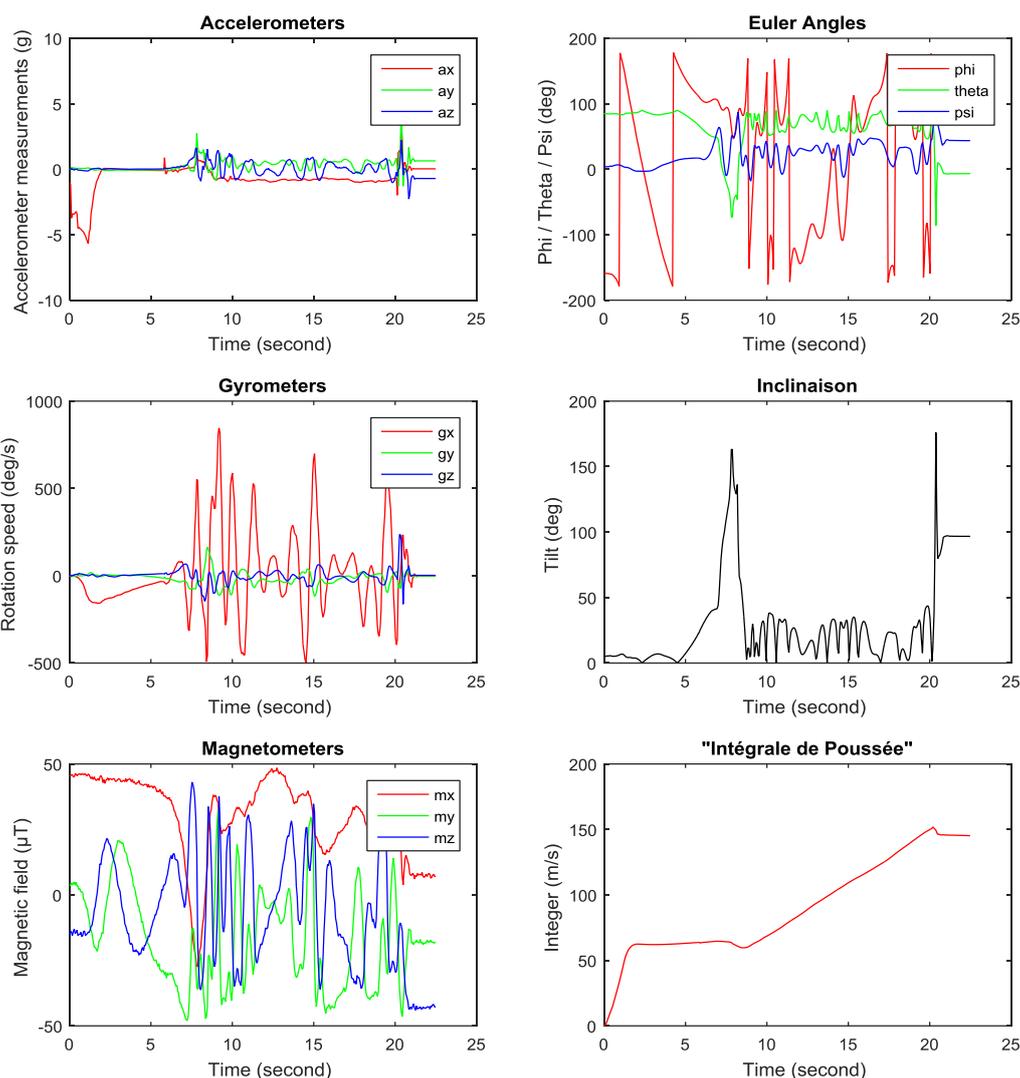


Figure 42 Analyse des résultats d'essais en vol

Les attitudes du lanceur déterminées vérifient la vidéo du vol. Le tangage et le lacet sont utilisés pour autoriser la mise à feu du second étage pour Matriochka et sont cohérents avec les observations et les vidéos. Il faut garder en tête que le parachute sur Matriochka est éjecté par une porte latérale contrairement à la fusée à eau où elle éjectée par l'ogive. On peut corréler le tangage avec les observations du 'mx' magnétomètre.

On voit que la fusée a fait un tour sur elle-même en phase de montée (1 à 4 secondes) sur son roulis et nous le vérifions bien avec la mesure d'un des gyromètres.

Etant donné le comportement dynamique et la perception des variations d'attitude lors de la retombée, toute rafale pendant la montée pourra être détectée (si elle entraîne une rotation du lanceur) et permettra donc d'interdire la mise à feu et donc de jouer correctement son rôle de sécurité.

NB : Il est intéressant de noter au passage les oscillations amorties pendant la phase sous parachute avec une fréquence de $\sqrt{2}$ Hz.



3.3. Problèmes constatés et solutions trouvées

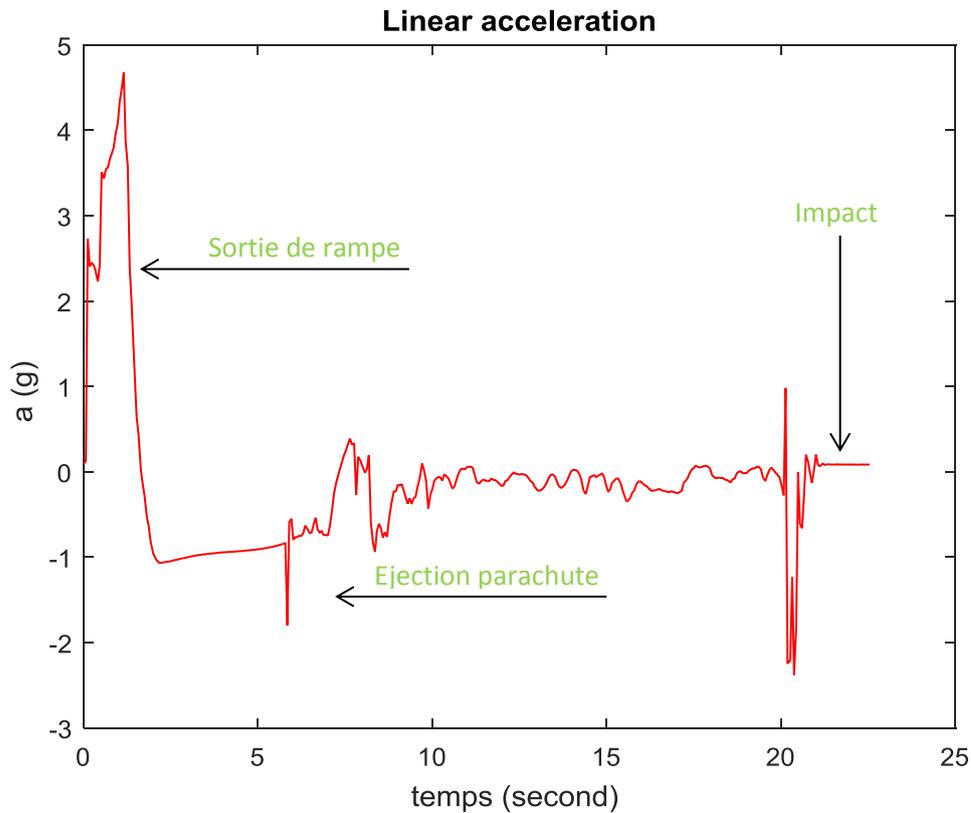


Figure 43 Analyse des résultats d'essais en vol (2)

Toutefois, la courbe d'accélération diffère en termes d'amplitude sur la première seconde à la simulation sur un logiciel équivalent à StabTraj. Après analyse des résultats, nous avons compris d'où venait cet écart. Lors de la programmation, nous avons défini « *un bandwitch* » de 25 Hz. C'est donc l'effet de filtrage qui a limité les hautes fréquences au décollage. Pour le vol de Matriochka, nous allons augmenter cette valeur à 100 Hz (voire plus) afin de garantir le bon fonctionnement de l'intégrale de poussée (qui d'ailleurs a bien joué son rôle sur la fusée à eau).

4. Trajectographie

La présence de tous les capteurs va nous permettre de faire la trajectographie de Stimulus après le vol. Nous avons pu tester le script sur l'essai de la fusée à eau. L'intégration simple puis double permet de vérifier la simulation et les observations avec une apogée à 145 m. Deux types de courbes sont affichés. Le premier type est une intégration directe des accélérations. La seconde consiste à projeter la vitesse de la fusée (en intégrant avant l'accélération) dans le repère absolu :

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} = R' \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}$$

En posant R' la matrice de rotation permettant de passer du repère avion au repère terrestre.

$$R' = \begin{pmatrix} \cos(\psi)\cos(\theta) & -\sin(\psi)\cos(\varphi) + \cos(\psi)\sin(\theta)\sin(\varphi) & \sin(\psi)\sin(\varphi) - \cos(\psi)\sin(\theta)\cos(\varphi) \\ \sin(\psi)\cos(\theta) & \cos(\psi)\cos(\varphi) + \sin(\psi)\sin(\theta)\sin(\varphi) & -\sin(\varphi)\cos(\psi) + \sin(\psi)\sin(\theta)\cos(\varphi) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta)\sin(\varphi) & \cos(\theta)\cos(\varphi) \end{pmatrix}$$

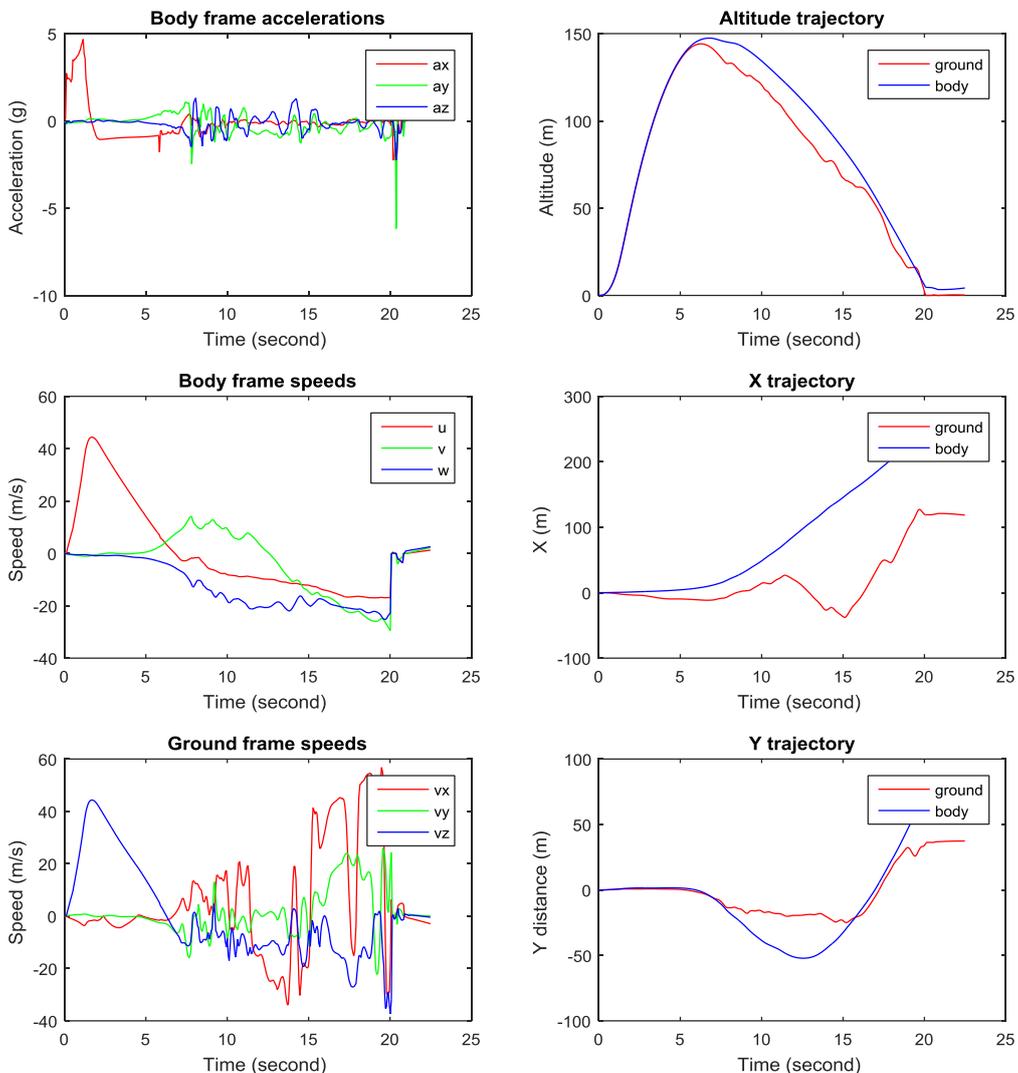


Figure 44 Trajectographie - Essai en vol



Les résultats projetés de la vitesse sont bruités en phase parachute à cause des fortes oscillations (nous n'avons pas appliqué l'hypothèse $v = 0$ et $w = 0$). Toutefois, l'intégration de la vitesse absolue donne des résultats proches aux observations lors du vol.

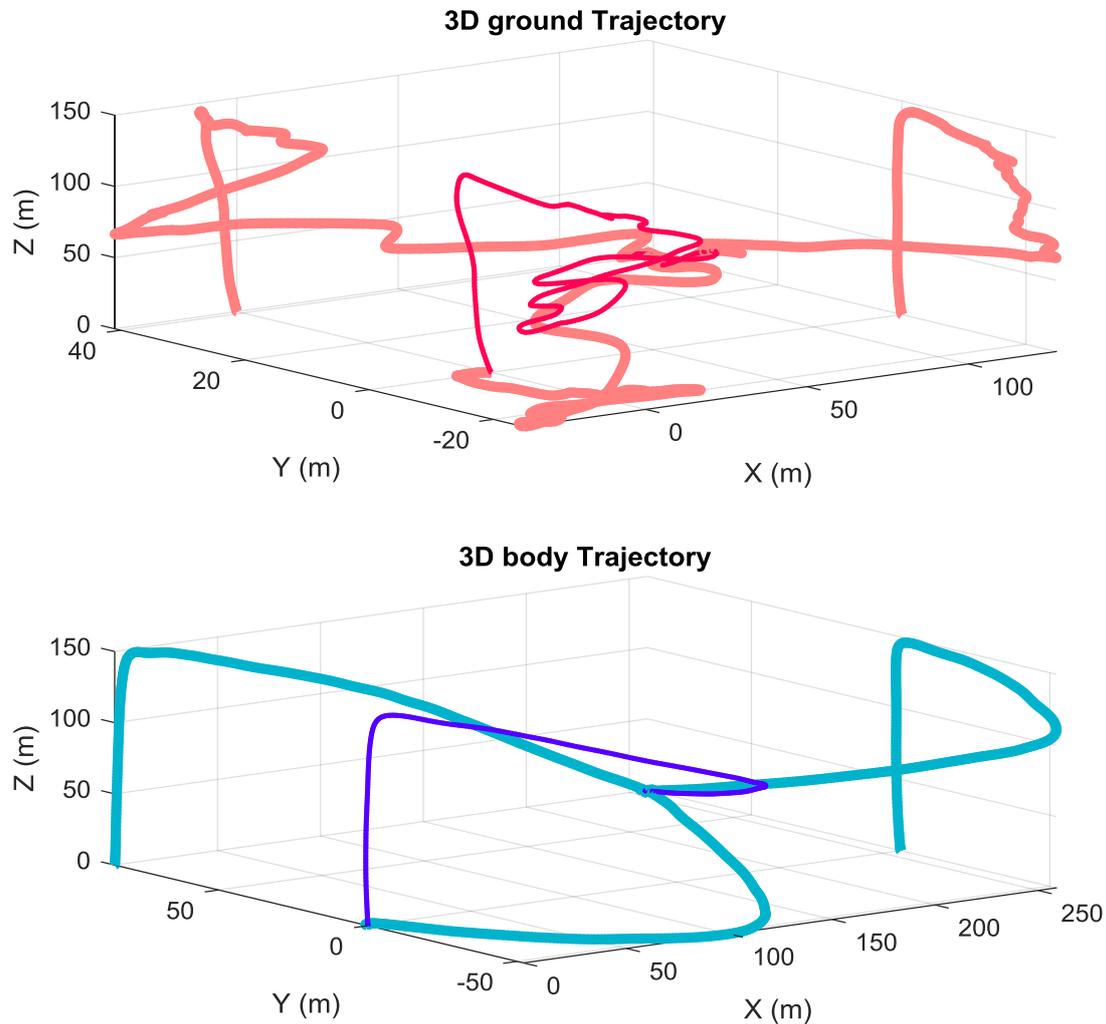


Figure 45 Trajectographie 3D - Essai en vol

C'est bien à une centaine de mètres que nous avons récupéré la fusée à eau comme le montre la trajectoire par rapport au sol.

5. Conclusion

A l'issue des résultats des tests unitaires et des essais en vol, nous intégrons le module au sein de Stimulus. Le script de trajectographie est prêt à analyser les données de Stimulus pour son vol au C'Space.

Chapitre 8 : Tests & Validation

E – Explication, l'équipe a répondu à cette exigence via une explication faisant office de justification dans ce document, le chapitre dans lequel cette explication a été développée est référencé dans la colonne REFERENCE du tableau de validation.

A – Analyse, l'équipe a mis en place un raisonnement complexe pour arriver à une solution technique qui répond à l'exigence donnée, la colonne REFERENCE du tableau de validation renvoie à cette analyse présente dans ce document.

I – Inspection, la validation a été réalisée par un membre de l'équipe ou un tiers, en particulier un contrôleur Planète Science pendant l'un des événements suivant : RCE3 ou C'Space (cette inspection peut être d'ordre visuel)

T – Test, la validation a été réalisée via un contrôle issu du cahier des charges minif ou fusex du C'Space par un bénévole Planète Sciences ou via un test développé par l'équipe elle-même.

1. Matrice de Validation - Stimulus

EXIGENCES	VERIFICATION	STATUT	REFERENCE
LANCEUR – Cahier des Charges FUSEX			
OBJ1 : Le club doit définir les buts de l'expérience.	E	OK	Chap 1 - §3
OBJ2 : Le club doit déterminer les paramètres à étudier.	E	OK	Chap 5 - §6
OBJ3 : Le club doit fixer les gammes de mesure et les précisions	E	OK	Chap 6
METH1 : Le club doit indiquer les paramètres effectivement mesurés.	E	OK	Chap 6
METH2 : Le club doit établir les fonctions de conversion (entre les paramètres que l'on souhaite mesurer et ceux que l'on mesure effectivement).	E	OK	Chap 6
METH3 : Le club doit évaluer les erreurs de mesure.	E	OK	Chap 6
METH4 : Le club doit établir, dès le début du projet, la manière d'exploiter les résultats de l'expérience.	E	OK	Chap 9
Chaîne de mesure			
DEF1 : Le club doit choisir les maillons de la chaîne de mesure (capteurs, conditionneurs, codeurs, ...) à partir des performances requises.	E	OK	Chap 6
DEF2 : Le club doit prévoir les méthodes d'étalonnage des différentes voies de mesure.	E	OK	Chap 6



<p>REA1 : Le club doit établir les plans de tous les sous-ensembles électriques et mécaniques.</p> <p>REA2 : Le club doit établir les plans de câblage électrique.</p> <p>REA3 : Le club doit établir les plans d'intégration électronique / mécanique.</p>	E	OK	<p>Annexes 1 & 2</p> <p>Chap 6 - §5.3.1</p>
<p>MES1 : Toutes les voies de mesure doivent être étalonnées.</p>	I	OK	<p>Chap 6</p>
<p>MES2 : La chaîne de mesure globale doit avoir une autonomie d'au moins 45 minutes.</p>	T	OK	<p><i>Test Autonomie elec carte de MAF</i></p>
Fusée sans télémesure			
<p>STOC1 : Les données mesurées doivent être stockées dans la fusée.</p> <p>STOC2 : Le club doit démontrer qu'il a les moyens de décoder les données stockées.</p> <p>STOC3 : Le système de stockage doit supporter les contraintes physiques du vol de la fusée et l'atterrissage.</p> <p>STOC4 : Le système de stockage doit avoir une autonomie d'au moins quatre jours (résistance à l'humidité, alimentation électrique, température)</p> <p>STOC5 : Des points de test et des cavaliers doivent être présents entre chaque élément de la chaîne de mesure. (camera industriel = boîte noire)</p>	E	OK	<p>Chap 5 - §6</p>
Structure Mécanique			
<p>MEC1 : Le club doit réaliser les plans mécaniques de chaque pièce ainsi que de l'intégration.</p>	E	OK	<p>Annexe 1</p>
<p>MEC2 : Flèche La flèche statique doit être inférieure ou égal à 1 % (10 mm/m). < 29 mm La flèche dynamique doit être inférieure ou égal à 1% par rapport à la position à vide (flèche statique).</p> <p>MEC3 : Tenue en compression : Chaque élément de la fusée doit pouvoir supporter une compression équivalente à $F = 2 \times \text{Accélération Max} \times M_{\text{sup}}$ (en NEWTON) F = 53 N 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 N). Particulièrement, la bague de reprise de la poussée doit résister à la poussée maximale du propulseur.</p> <p>MEC4 : Résistance longitudinale des ailerons : Les ailerons doivent pouvoir supporter une force longitudinale de : $F = 2 \times \text{Masse d'un aileron} \times \text{Accélération Max}$ F = 9 N</p>	T	OK	<p>Contrôles lors du C'Space 2016</p> <p>MEC2 : Zoé et Mitch</p> <p>De MEC3 à MEC9 : Jérôme</p>



<p>MEC5 : Résistance transversale des ailerons : Une force $F = 0.1 \times \text{Surface d'un aileron} \times V_{\text{max}}^2$ F = 67N doit entraîner une flèche transversale des ailerons inférieure à 10° (la surface en m² et la vitesse en m/s).</p> <p>MEC6 : Alignements des ailerons < 1°</p> <p>MEC7 : Angle entre deux ailerons consécutifs : 90° ± 10°</p> <p>MEC9 : Les éléments de la fusée doivent rester fixés jusqu'au déclenchement du système de récupération et doivent ensuite restés liés les uns aux autres.</p>			
Système de Récupération			
<p>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.</p> <p>REC2 : Le système ralentisseur doit permettre une arrivée au sol à moins de 15 m/s. (8 m/s)</p> <p>REC3 : La fusée doit descendre suffisamment rapidement pour rester dans le gabarit autorisé</p> <p>REC4 : L'instant de déploiement du système ralentisseur doit être compatible avec l'expérience menée par le club. (8 s)</p> <p>REC5 : Le club doit réaliser les plans des différents éléments mécaniques du système de récupération et de leur intégration.</p>	<p style="text-align: center;">A</p> <p style="text-align: center;">A</p> <p style="text-align: center;">T</p>	<p>OK</p>	<p style="text-align: center;">Chap 5, Structure Lanceur</p> <p style="text-align: center;">Annexe 2</p> <p style="text-align: center;">Contrôles lors du C'Space 2016</p>
<p>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.</p> <p>INI2 : L'initialisation à partir de la ligne de mise à feu est interdit. Par contre un Top feu est disponible au pupitre de mise à feu pour commander des systèmes annexes non embarqués (appareil photo, ...).</p>	<p>RAS</p>	<p>RAS</p>	<p>RAS</p>
<p>SEQ1 : AUCUNE LIAISON ELECTRIQUE, autre que la masse, n'est autorisée entre le séquenceur et tout autre système électrique embarqué.</p>	<p>I</p>	<p>OK</p>	<p>Contrôles lors du C'Space 2016</p>
<p>SEQ2 : Le séquenceur doit avoir une autonomie d'au moins 45 minutes.</p>	<p>T</p>	<p>OK</p>	<p>Test Autonomie elec carte de Récupération Lanceur</p>
<p>SEQ3 : Le séquenceur doit avoir la puissance nécessaire pour déclencher le mécanisme de séparation.</p>	<p>T</p>	<p>OK</p>	<p>Contrôles lors du C'Space 2016 + Video</p>
<p>SEQ4 : Signalisation : Trois informations doivent être données explicitement (position claire des interrupteurs, voyant, buzzer, ...) :</p>	<p>E</p>	<p>OK</p>	<p>Chap 6 - §5</p>



-séquenceur sous tension ou hors tension -séquenceur actif (la fusée a décollé) ou inactif (la fusée attend le décollage) -actionneur actif (séparation commandée) ou inactif (séparation non commandée)			
SEQ5 : Dans le cas d'un déclenchement de la séparation par des capteurs (i.e différent d'une minuterie), un fenêtrage temporel [T1, T2] par un séquenceur est obligatoire. T1 \geq T - 2 sec. T2 \leq T + 2 sec. avec T = instant prévu de déclenchement Un cavalier et des points de test devront permettre d'isoler et de vérifier facilement le fonctionnement du module de fenêtrage temporel.	I	OK	Contrôles lors du C'Space 2016
SEQ6 : Le club doit connaître la formule donnant la valeur du temps de déclenchement du séquenceur à partir des valeurs des composants employés.	E	OK	Chap 6 - §1
SEQ7 : Le club doit réaliser les plans du séquenceur et de son câblage électrique (à la prise d'initialisation, à l'actionneur, aux alimentations, ...).	E	OK	Chap 6 - §1
REC8 : La case contenant le système de récupération doit rester opérationnelle lorsqu'elle supporte en compression longitudinale une force : F = 2 ´ Accélération Max ´ M _{sup} F = 1 500N 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). REC9 : En position fermée, la porte latérale ne doit pas dépasser du profil de la fusée. REC10 : La porte ne doit pas s'ouvrir ou se bloquer lorsqu'on applique un couple de torsion de 1 N.m entre le haut et le bas de la fusée. REC11 : L'éjection du ralentisseur doit être franche. REC12 : L'accélération et les vibrations de la fusée ne doivent pas modifier le fonctionnement du système de récupération.	I	OK	C'Space 2016
REC13 : Le ralentisseur doit être suffisamment solide pour résister au choc à l'ouverture. REC14 : Dans le cas de l'utilisation d'un parachute, celui-ci doit être équipé d'un anneau anti-torche.	I	OK	C'Space 2016
Qualité			
QUAL1 : Le club doit établir assez tôt un planning détaillé de son projet allant jusqu'à l'exploitation des résultats. Il doit également répartir les tâches entre les différents participants au projet.	E	OK	Chap 3 WBS et Planning



<p>QUAL2 : Le club doit réaliser les plans de tous les sous-ensembles électriques et mécaniques.</p> <p>QUAL3 : Le club doit réaliser les plans d'intégration de l'ensemble des éléments de la fusée.</p> <p>QUAL4 : Le club doit réaliser les plans de câblage électrique.</p>	E	OK	Annexes 1 et 2
<p>QUAL5 : Le club doit disposer de la documentation technique de l'ensemble des composants électriques et électroniques qu'il utilise.</p>	E	OK	Datasheets : Matriochka Google Drive
<p>QUAL6 : La tenue mécanique de tous les éléments de la fusée doit leur permettre de fonctionner correctement lorsqu'ils sont soumis aux perturbations du vol (accélération, vibrations, ...).</p>	I	OK	C'Space 2016

Sécurité

<p>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.</p> <p>SECU2 : Il est interdit d'embarquer à bord des fusées des produits pouvant être dangereux.</p> <p>SECU3 : Il est interdit d'embarquer à bord des fusées des animaux morts ou vivants.</p> <p>SECU4 : Les systèmes qui commandent des processus actifs sur rampe avant le décollage doivent être équipé d'un système permettant au P.C. de connaître leur état à chaque instant.</p> <p>SECU5 : Seuls les actionneurs pyrotechniques (cisailles, cordons, vérins, etc.) conçus et fabriqués par des professionnels, non modifiés et non périmés, peuvent être montés dans les fusées. La puissance d'un système pyrotechnique doit être strictement adaptée à la fonction à remplir.</p> <p>SECU6 : Tous les systèmes pyrotechniques déclenchés électriquement doivent avoir un des deux fils de mise à feu connecté à la masse mécanique de la fusée, l'autre étant relié au séquenceur par l'intermédiaire d'un dispositif pouvant déconnecter le séquenceur et assurer le court-circuit et la mise à la masse mécanique de la fusée des fils de mise à feu. La position mécanique de ce dispositif doit permettre de déterminer sans ambiguïté son état.</p> <p>SECU7 : Tous les systèmes pyrotechniques déclenchés mécaniquement (percuteur, ...) doivent être équipés d'un dispositif mécanique assurant le</p>	I	OK	C'Space 2016
---	---	----	--------------



verrouillage du système pendant le transport (loquet, goupilles, ...). Ce verrouillage doit être identifiable sans ambiguïté. SECU8 : Pour les systèmes éjectant des éléments, une protection mécanique (chaîne, bandeau) doit empêcher leur sortie normale en cas de déclenchement pendant les manipulations.			
SECU15 : La ligne de mise à feu du moteur est inaccessible à l'expérience.	I pour Pro 54 uniquement	OK	C'Space 2016
SECU16 : Les tensions (Vmax-Vmin) supérieures à 30 V sont interdites dans la fusée	I	OK	C'Space 2016
Mise en Œuvre			
STAB1 : Vitesse en sortie de rampe > 20 m/s 25.4 STAB2 : Finesse : $10 < f < 35$ 21.1 STAB3 : Portance : $15 < C_n < 40$ 18.6 STAB4 : Marge Statique : $2 < MS < 6$ [4.25-4.99] STAB5 : Produit $MS \times C_n = C_m$: $40 < C_m (< 100)$, un produit supérieur à 100 nécessite des conditions de lancement particulières. [78.9-92.7]	A I	OK	Stab / Traj annexe 4 Chap 5 - §2
Compatibilité Rampe			
CR1 : La fusée doit être compatible avec au moins une des 4 rampes [MEDERIX – Rampe Rail] CR2 : Toutes les fusées doivent avoir 4 ailerons identiques. CR3 : Les zones devant être accessibles (interrupteurs, voyants, prise d'initialisation, ...) doivent se trouver à $\pm 20^\circ$ dans l'alignement des ailerons. CR4 : D'éventuels éléments éjectés doivent se trouver dans une zone accessible autre que celle de signalisation ou de mise en œuvre. CR5 : La fusée doit être prévue pour être introduite horizontalement dans la rampe. CR6 : Angle des cordons arrachables : 5 à 30° . CR7 : Les interrupteurs de mise en œuvre doivent être accessibles de l'extérieur de la fusée, sans démontage. CR8 : En rampe, le diamètre extérieur de la fusée devra être le même tout au long de la fusée entre le bas du cône et le bas du moteur.	I	OK	C'Space 2016
Compatibilité Moteur			
CP1 : Le propulseur doit entrainer la fusée en reprenant la poussée soit par le haut, soit par le bas. CP2 : Les propulseurs doivent être centrés sur le diamètre. CP3 : Les rétreints équipant les fusées ne doivent pas couvrir la bague inférieure des propulseurs pour laisser l'accès et le dégagement nécessaire aux opérations pyrotechniques. CP4 : Les propulseurs doivent être maintenus	I	OK	Chap 5 - §1.4 Annexe 2 C'Space 2016



avec au moins 2 brides de retenue (type Z) fixées à l'aide d'une vis de 4mm à 6 pans creux (dite aussi « Allen » ou « BTR ») Ecrou papillon			
Chronologie de Vol			
CHRONO1 : Le club doit établir assez tôt une « check-list » très détaillée, présentée chronologiquement, de la mise en œuvre de la fusée.	E	OK	Chap 8 - §3
Post Traitement			
EXP1 : L'expérience devra faire l'objet d'un compte-rendu détaillé.	E	OK	Ce document après vol
Exigences ajoutées			
ST01 : Le lanceur Stimulus doit être remis en l'état en moins de 1 mois après un vol	E	OK	Chap 9
ST02 : Le lanceur Stimulus doit être remis en état de vol pour un coût inférieur à 10% de son coût de fabrication	E	OK	Chap 9
ST03 : Le lanceur Stimulus doit pouvoir emporter des minifusées usuelles	E	OK	Chap 5 - §1
ST04 : Le lanceur Stimulus doit pouvoir s'adapter à la minifusée emportée selon les paramètres de masse et de centre de gravité de cette dernière	E	OK	Chap 5 - §2
ST05 : Le parachute lanceur doit pouvoir récupérer le lanceur à vide ou le lanceur + la minifusée à une vitesse comprise entre 5 et 15 m/s	A	OK	Chap 5 - §2
ST06 : Le lanceur Stimulus doit assurer la mise à feu de la minifusée	E	OK	Chap 6 - §3
ST07 : La mise à feu de la minifusée doit être autorisée si et seulement les conditions de sécurité sont réunies (cf. analyse de sûreté de fonctionnement au Chapitre 4)	E	OK	Chap 6 - §3
MAF 01 : La mise à feu doit être conforme au schéma suivant : cf. Chap 2	E	OK	Chap 6 - §3
MAF 02 : La carte de mise à feu doit permettre de faire passer 4A à l'inflamateur (En attente de confirmation du CNES, s'agit-il d'un infla moyenne énergie ?) Rint = 1Ω 4A pendant 15 à 30 ms pour détoner Norme MIL I23659 http://www.dassault-aviation.com/fr/espace/produits-pyrotechniques/initiateurs/ http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-23659E_8994/ Information donnée le 09/05/2017 grâce à Bertrand Bocquet (Stagiaire au CNES Daumesnil et membre de l'équipe Matriochka) par l'intermédiaire de Bourenane Kherrmane (Pla Sci) – Information communiquée 3 ans après le début du projet	CONFIRMATION ARRIVEE LE 09/05/2017 PAR PLA SCI	OK	Chap 6 - §3 <u>Testé lors des</u> <u>contrôles Fusex du</u> <u>C'Space 2017</u>
MAF 03 : La carte de mise à feu doit comporter un shunt pyro qui court-circuite l'inflamateur	E	OK	Chap 6 - §3



MAF 04 : La carte de mise à feu doit comporter un interrupteur pyro qui coupe à la fois la ligne d'alimentation du circuit de mise à feu et la masse	E	OK	Chap 6 - §3
MAF 05 : L'alimentation du circuit de mise à feu doit être indépendante du reste de la carte	E	OK	Chap 6 - §3



2. Matrice de Validation - Reflex

EXIGENCES	VERIFICATION	STATUS	REFERENCE
CHARGE UTILE – Cahier des Charges MINIF			
GN1 : La fusée ne doit présenter aucun danger pour les personnes ou l'environnement. Aussi, sont interdits : les fumigènes, l'embarquement d'animaux morts ou vifs, les expériences dangereuses pour l'environnement, tout élément inflammable ou explosif, tout dispositif entraînant une modification de la stabilité de la fusée en phase ascensionnelle. Tout élément éjecté doit être solidement relié à la fusée ou ralenti lors de sa chute dans les mêmes conditions que pour la fusée.	I	OK	C'Space 2016
GN2 : Seule l'utilisation des inflammateurs que peut vous procurer Planète Sciences est possible. Aucune modification ou ajout de matière inflammable n'est autorisé. Lors de l'utilisation d'un inflammateur, un interrupteur de mise à la masse (court-circuit à la masse) est obligatoire.	I	OK	Chap 6 - §2
GN3 : Votre fusée doit être compatible avec la rampe utilisée lors de la campagne de lancements.	I	OK	Chap 5 - §1
GN4 : Lors du lancement, les procédures peuvent prendre du temps. Pour cette raison, l'autonomie de l'alimentation électrique doit être d'au moins quinze minutes. La présence d'un interrupteur marche/arrêt est obligatoire.	E I	OK	Chap 6 - §2 C'Space 2016
GN5 : La fusée doit disposer d'indicateurs clairs pour permettre de savoir à tout moment dans quel état elle se trouve (marche/ arrêt ; position sécurité ; position vol ; ...).	E	OK	Chap 6 - §2
Vol			
VL1 : Le club doit fournir une chronologie au responsable du lancement.	E	OK	Chap 8 - §3
VL2 : Le propulseur doit entraîner la fusée. Sa fixation s'effectue quelques minutes avant le lancement, il doit donc pouvoir être monté ou démonté rapidement, être centré sur le diamètre, être maintenu dans l'axe de la fusée et s'appuyer sur une plaque de poussée plane.	E I	OK	Chap 5 - §3 C'Space 2016
VL3 : L'axe longitudinal de chaque aileron doit être parallèle à l'axe longitudinal de la fusée. Les ailerons doivent être répartis de manière symétrique autour du corps de la fusée. Ils doivent supporter les fortes contraintes aérodynamiques du vol.	I	OK	C'Space 2016
VL4 : La fusée doit avoir un vol stable. Pour cela, il est nécessaire de respecter les conditions suivantes : * Une vitesse minimale en sortie de rampe de 18	E I	OK	Chap 5 - §3 C'Space 2016



<p>m/s 22.7m/s</p> <p>* Finesse (rapport longueur sur diamètre) : $10 < f < 20$ 16.3</p> <p>* Portance (voir annexe Logiciel Trajec) : $15 < C_n < 30$</p> <p>* Marge statique (voir annexe Logiciel Trajec) : $1,5 < MS < 6$</p> <p>* Coefficient Marge statique x Portance : $30 < M_s \times C_n < 100$</p>	T « Test de la ficelle »	OK	Video
VL5 : La Flèche inférieure à 1% (entre la plaque de poussée propulseur et le haut de l'ogive).	I	OK	C'Space 2016
VL6 : Tous les éléments de la fusée doivent rester fixés durant toute la durée du vol. Toutefois, le largage ou l'éjection d'éléments peut être envisagé dans le cadre d'une expérience argumentée. Dans ce cas, on se conformera à la règle GN1.	I	OK	C'Space 2016
Récupération			
RC1 : La fusée doit être munie d'un système de récupération lui permettant de rejoindre le sol à une vitesse subsidente comprise entre 5 et 15 m/s. 9.9m/s	E I	OK	Chap 5 - §3 C'Space 2016
RC2 : La fusée doit être munie d'un système réglable en temps permettant la mise en œuvre du ralentisseur à la culmination (point le plus haut de la trajectoire).	E	OK	Chap 6 - §2
RC3 : Le ralentisseur et ses fixations doivent résister au choc lors de l'ouverture.	I	OK	C'Space 2016
RC5 : La fusée doit retomber dans le gabarit de lancements défini. Le gabarit de lancement Cariatou est conçu pour réceptionner des minifusées de 1.4 kg minimum (propulseur compris). Pour les minifusées plus légères une dérogation peut être demandée pour un lancement sur un gabarit de lancement fusée expérimentale.	A	OK	CNES
Exigences ajoutées			
RX01 : La minifusée Reflex doit s'insérer dans le tube lanceur de 140 mm de diamètre interne	E	OK	Chap 5 - §1.1
RX02 : La minifusée Reflex doit pouvoir survivre à l'ambiance générée par le Pro 54 du lanceur	E	OK	Chap 5
RX03 : L'état de la minifusée Reflex doit être connu durant les opérations en rampe	E	OK	Chap 6 - §6
RX04 : Les axes longitudinaux de Reflex et du lanceur doivent être confondus lors du largage de Reflex	E	OK	Chap 5 - §6

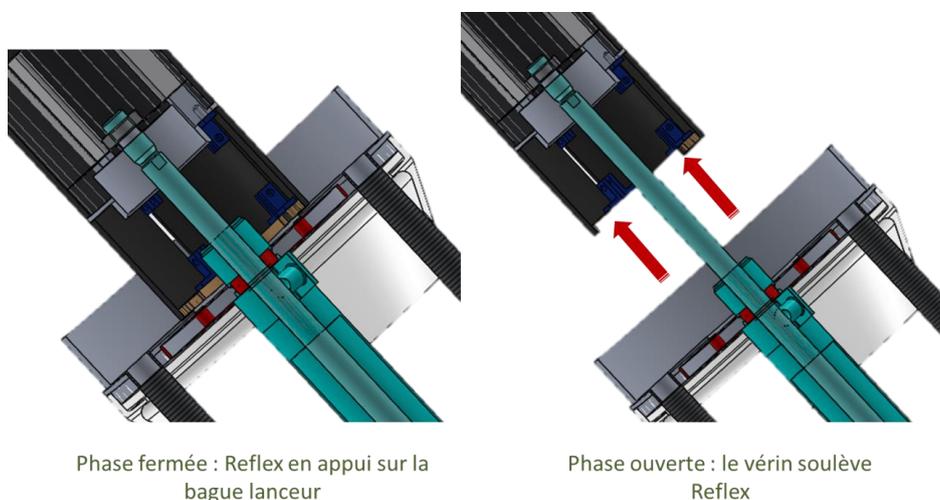


3. Registre des Tests

3.1. Tests Stimulus

Titre	Objectif	Commentaire
Test Autonomie elec carte de MAF	Vérifier que la carte fonctionne après 45min de mise sous tension	OK (conso très faible, d'où une autonomie qui va au-delà des 45 min)
Test Autonomie elec carte de récupération lanceur	Vérifier que la carte fonctionne après 45min de mise sous tension	OK (conso très faible, d'où une autonomie qui va au-delà des 45 min)
Tests Fiche de Contrôles Fusex	C'Space 2016 –Vérifier que le lanceur est prêt pour effectuer son vol sous Pro 54	OK méca OK elec de récupération NOK MAF
Test d'éjection Reflex (banc d'essai)	Vérifier l'éjection mécanique de Reflex*	OK - VIDEO
Test de récupération Lanceur	Vérifier le sous-système électromécanique, de la commande à la sortie du parachute	OK - VIDEO
Test autonomie caméra		OK
Test intégration caméras	Vérifier l'intégration mécanique, l'angle de vue et l'accessibilité des boutons	OK
Test opérationnel caméras	Prise d'images et visualisation sur ordinateur	OK
Test centrale inertielle	Valider le fonctionnement de la centrale inertielle	OK – Vol fusée à eau ESO

*Présentation du banc d'essai d'éjection de la minifusée Reflex : Le banc d'essai est composé d'un vérin (bleu), d'un plateau (rouge) permettant de fixer le vérin au lanceur via 4 vis M3. Le vérin est actionné via un réservoir monté à 8 bars de pression. Le vérin est actionné en ouvrant la vanne du réservoir (pressurisé à l'aide d'une pompe à main). La sortie de la tige du vérin permet de simuler le début de largage de Reflex et donc de valider la bonne translation de Reflex ainsi que l'ouverture de l'ogive et l'écartement des deux demi-ogives (cf. vidéo).



3.2. Tests Minifusée

Titre	Objectif	Commentaire
Test Autonomie pneuma sépa à billes	Vérifier la bonne tenue du circuit pneumatique	OK (testé le 14/05 : plus de 3h d'autonomie)
Test Autonomie élec carte de récupération	Vérifier que la carte fonctionne après 45min de mise sous tension	OK (conso très faible, d'où une autonomie qui va au-delà des 45 min)
Tests Fiche de Contrôles Minif	C'Space 2016 –Vérifier que le lanceur est prêt pour effectuer son vol sous Pro 54	OK Entièrement validée lors du C'Space 2016 par Yan et son père, contrôleurs minifusée
Test de récupération Reflex	Vérifier le sous-système electro-mécanique, de la commande à la sortie du parachute	OK - VIDEO
Test intégration caméra	Vérifier l'intégration mécanique, l'angle de vue et l'accessibilité des boutons	OK
Test opérationnel caméra	Prise d'images et visualisation sur ordinateur	OK
Test autonomie caméra	Vérifier l'autonomie de la caméra en mode vidéo	OK
Test de la ficelle	Vérifier la stabilité de la fusée	OK - VIDEO

3.3. Vol Simulés

De plus, et conformément à ce qui est demandé dans les fiches de contrôles fusex et minifusées, des vols simulés ont été réalisés en déroulant la chronologie complète de lancement.



Chapitre 9 : Campagne de Lancement

1. Préparation Campagne

1.1. Liste outillage et composants à emporter au C'Space

Les outillages C'Space sont ceux qui ont été nécessaires pendant lors des opérations d'assemblage et de chronologie de lancement.

Les outillages et les pièces vol sont listés dans le document de chronologie de vol.

1.2. Liste des tâches avant de partir au C'Space

- Charger les batteries lanceurs
- Charger les batteries Reflex (jeu de vol + jeu de secours)
- Charger les deux caméras lanceur (orange + argent)
 - Brancher le câble USB sur un PC
 - DEL verte pendant le chargement
 - DEL éteinte quand le chargement est terminé (3h)
 - Vérifier que chaque caméra a sa carte SD intégrée
- Charger la caméra Reflex
 - Enlever la carte SD
 - Brancher le câble USB sur un PC – 1 vibration – DEL rouge
 - DEL éteinte quand la batterie est chargée (10h)
 - Remettre la carte SD
- Charger TOUT LE MATERIEL de la liste d'outillage dans la caisse Matrio
- Emporter le support vertical



2. Pendant la campagne de lancement

MATRIOCHKA - PREPARATION POUR CONTROLES C'SPACE AU R3

Dernière mise à jour :

07/07/2017

EQUIPE C'SPACE : FRANCOIS - BERTRAND - ARMELLE - PIERRE G - ARNOULD

J1 - Samedi

Arrivée au C'Space
Installation sur Stand
Charger les batteries STIMULUS + REFLEX

ALUM STAB + CHARGEURS BATTERIES



Montage Lanceur

J2 - Samedi soir / Dimanche matin

CONSIGNE ELEC POUR LA MAF : USB arduino - Ne jamais brancher l'alimentation batterie et l'alimentation USB en même temps !

PLAN D'INTEGRATION :

QUI	ASSEMBLAGE PARTIE BASSE	OUTILS	PIECES VOL
FRANCOIS / ARMELLE	ETAGE PROPU Monter les 4 ailerons sur l'étage propu avec du vernis auto-bloquant Serrer les vis ailerons Ajouter de la pâte pour carréner les écrous Déplacer l'étage sur son support vertical - la vis de rétention Pro S4 dans le trou ETAGE RECUP Monter l'étage récup sur l'étage propu - ALIGNER LA LIGNE VERTE - Ventouse en haut ATTENTION AJUSTEMENT : remettre du ruban adhésif si ajustement trop glissant Ranger le parachute et fermer la porte avec un tyrap (ne pas fermer avec la ventouse) Ajouter du scotch autour de la porte - en cas d'ouverture intempestive CASE ELEC Intégrer les 4 batteries (fixées avec du double face et dans la mousse) Raccorder tous les connecteurs sauf les batteries (connecteurs jaune) - SCHEMA CI-DESSOUS Passage du câble USB de l'Arduino - Accès Monter la case élec - ALIGNER LA LIGNE VERTE - MEO vers le haut Attention aux fils ! (contacteur de porte + ventouses + jacks récup + jack MAF)	CLE A CLIQUET + OUTIL M5 + PINCE MULTI + PLATE + LOCTITE MASTIF A CARROSSERIE EN TUBE SUPPORT VERTICAL CLES ALENE M3 SCOTCH PEINTRE POUR AJUSTEMENT PINCE PLATE SCOTCH OU TYRAP SCOTCH DOUBLE FACE CABLE USB ARDUINO CLES ALENE M3	VIS M5 + EROUS M5 VIS M3 BRUNES PARACHUTE + ACASTILLAGE VIS M3 BRUNES LES 4 BATTERIES
	ETAGE THERMIQUE Vérification de la fixation des tiges filetées Passage du fil + connecteur de l'infla Fixation du fil de l'infla le long des tiges filetées avec un tyrap Montage de l'étage thermique sur la case élec. (ajustement avec scotch peintre si nécessaire) - fixation des deux tiges filetées de la MEO - montage des vis M3 Poser Matriochka à l'horizontal sur les supports en bois ETAGE REFLEX + OGIVE Ajouter les deux câbles de rétention en nylon sur les deux demi ogives Nouer autour d'une rondelle (rondelle = butée afin que le câble soit bien fixé à la demi ogive)	LOCTITE AU CAS OU SCOTCH PEINTRE POUR AJUSTEMENT CLES ALENE M3 4 SUPPORTS FUSEE EN BOIS CLE ALENE M3 PINCE PLATE + PINCE COUPANTE	TYRAP VIS M3 BRUNES 2 VIS M3 LONGUES VIS M3 BRUNES RONDELLES + FIL DE NYLON
	REFLEX Vérifier que la tige du vérin dépasse de 20 mm Brancher le jack et les batteries; allumer la carte en extérieur et non dans un bâtiment Masquer le capteur optique avec une feuille de papier Vérifier que les del's sont dans l'état "stand by" Orienter le capteur optique vers le sol, retirer le masque Vérifier que la del du capteur optique et seulement celle-ci change d'état Eteindre la carte Réglage du capteur optique (si nécessaire) : Eteindre la carte, brancher le jack et les batteries; masquer le capteur optique Tourner le potentiomètre dans le sens requis Rallumer la carte, vérifier que les del's sont dans l'état "stand by" Une fois à l'extérieur du bâtiment, en tenant le capteur optique vers le sol, Retirer le masque; la del du capteur optique doit changer d'état Eteindre la carte Brancher le jack et les batteries; allumer la carte Fermer l'étage bas de Reflex Préparer un chronomètre pour mesurer la tempo à partir de l'arrachage du jack Arracher le jack Chronométriser jusqu'à l'ouverture de l'électrovanne Eteindre la carte Réglage de la temporisation (si nécessaire) - 4s Eteindre la carte, brancher le jack et les batteries Tourner le potentiomètre dans le sens requis Re-chronométriser la tempo, itérer si besoin Eteindre la carte Débrancher les batteries Débrancher le jack	REGLET FEUILLE DE PAPIER SCOTCH CHATERTON FEUILLE DE PAPIER TOURNEVIS PLAT TRES FIN CLE ALENE CHRONOMETRE TOURNEVIS PLAT TRES FIN	JACK REFLEX + FICELLE BATTERIES REFLEX BATTERIES REFLEX
	ASSEMBLAGE FINAL Visser les 3 patins lanceur sur la lanceur (pas de vis sous les scotchs vert) Vérifier que les vis de l'étage Reflex ne dépassent pas à l'intérieur de la bague Assembler le culot sur l'étage propu du lanceur avec deux vis M3 (à retirer pour le test de fièche ?) Assembler les supports caméras lanceur sur le lanceur avec les caméras dedans Serrer toutes les vis	CLE ALENE M3 SCOTCH DOUBLE FACE	3 PATINS EN NYLON 2 VIS M3 BRUNES

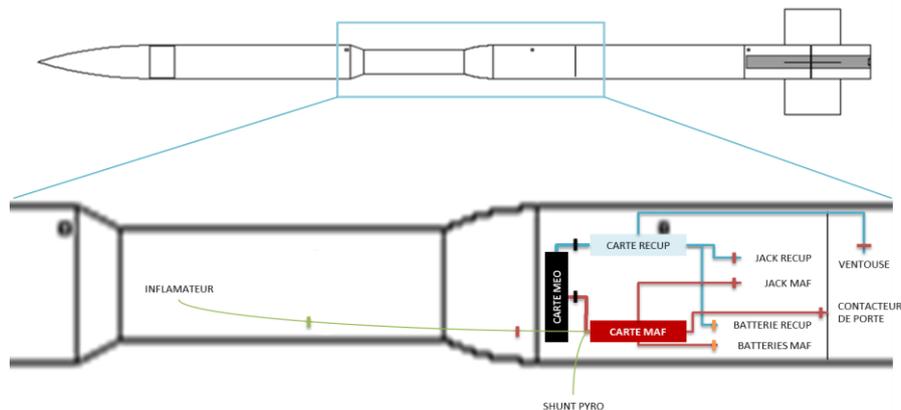
PASSER SUR LA CHRONOLOGIE DE VOL

ETAT DE MATRIOCHKA APRES CETTE ETAPE :

MATRIOCHKA - STAND BY MODE

STIMULUS A 90% ASSEMBLE - REPOSE SUR LES SUPPORTS EN BOIS
 REFLEX EST EN DEHORS DU LANCEUR - BATTERIES NON CONNECTEES - PAS DE PRESSION DANS LE VERIN
 LA CASE ELEC DE STIMULUS EST OUVERTE - PORTE PARA OUVERTE - BATTERIES NON CONNECTEES - AUCUN JACKS INSERES - OGIVE OUVERTE - REFLEX NON INTEGREE

CABLAGE CASE ELEC



- Connecteur type SUB-D
- Connecteur XT60
- Connecteur JST
- Connecteur rapide pour l'inflamateur (connecté par le pyro)

SHUNT PRYO = Prise Jack Mâle à retirer par le pyro



3. Chronologie de J-1 à H0

MATRIOCHKA - CHRONOLOGIE DE VOL

MATRIOCHKA - STAND BY MODE

Dernière mise à jour : 19/07/2017

EQUIPE C'SPACE : FRANCOIS - BERTRAND - ARMELLE - PIERRE G - ARNOULD

*chargeur : voir SIERA

		QUI	OUTILS	PIECES VOL	
R3 - La veille du vol					
Elec	<input type="checkbox"/> En parallèle des premières actions, charger <u>toutes</u> les batteries	ARNOULD / PIERRE G	CHARGEUR + ALIM STAB		
Etage Propulseur	<input type="checkbox"/> Vérifier le domino + l'écrou papillon + écrou supplémentaire si nécessaire	FRANCOIS / ARMELLE		ECROU PAPILLON + ECROU M5	
Etage Récupération	<input type="checkbox"/> Vérifier que le parachute est attaché	FRANCOIS / ARMELLE	LOCTITE	ECROU EN PLUS AU CAS OU	
	<input type="checkbox"/> Mettre vernis autoblocant sur l'attache rapide		PINCE PLATE		
	<input type="checkbox"/> Plier le parachute (démêler si nécessaire)		PINCE COUPANTE		
	<input type="checkbox"/> Insérer le parachute				
	<input type="checkbox"/> Desserer la vis de la rondelle - ventouse				
	<input type="checkbox"/> Fermer la porte latérale (+ vérifier la tenue de la porte)				
	<input type="checkbox"/> Ressérer la vis de la rondelle - ventouse				
	<input type="checkbox"/> Checker le contacteur de porte ("clac")				
Etage Electronique	<input type="checkbox"/> Vérifier la position des cartes et leur maintien	FRANCOIS / ARMELLE		DEUX JACKS 6mm AVEC FICELLES	
	<input type="checkbox"/> Insérer les deux Jacks 6 mm (suivre les marquages: jack Récup sur Récup et jack MAF sur MAF)				
	<input type="checkbox"/> Brancher les batteries avec les connecteurs jaunes en suivant les marquages (étiquettes)				
	<input type="checkbox"/> Vérifier le câblage				
	<input type="checkbox"/> Bien agencer les câbles avec des tyrap si nécessaire			TYRAPS	
	<input type="checkbox"/> Retirer la câble USB de l'Arduino via la fenêtre de la MEO				
	<input type="checkbox"/> Fermer la trappe élec et scotcher les bords (pour éviter l'infiltration d'air)			TOURNEVIS CRUCI + CLE ALENE	VIS A BOIS + VIS M3 COURTE
	<input type="checkbox"/> Vérifier que l'interrupteur pyro est en position "sécurité"		PIERRE G		
	<input type="checkbox"/> Carte de MEO : Vérifier l'état "stand by" (décrit un peu plus loin dans la chrono)	PIERRE G / ARNOULD			
	<input type="checkbox"/> Fin du test - Basculer TOUS les interrupteurs en position OFF	PIERRE G			
Etage Thermique	<input type="checkbox"/> Vérifier les tiges filetées (= vérifier qu'il n'y a pas de jeu dans les boulons - si besoin les resserrer en rajoutant du frein-filet)	FRANCOIS / ARMELLE	LOCTITE + PINCES MULTI-PRISE		
	<input type="checkbox"/> Coller le déflecteur à la bague en alu		COLLE BI-COMPOSANT		
	<input type="checkbox"/> Pistocoller et réattacher les deux wagos		SILICONE + PINCEAU		
Reflex	<input type="checkbox"/> Intégrer les batteries et les connecter	BERTRAND			
	<input type="checkbox"/> Vérifier le câblage	BERTRAND / ARMELLE			
	<input type="checkbox"/> Fixer la carte de MEO à la pâte à joint	BERTRAND / ARMELLE	PATE A JOINT		
	<input type="checkbox"/> Vérifier que la tige du vérin dépasse de 20 mm				
	<input type="checkbox"/> Vérifier la tenue des ailerons				
	<input type="checkbox"/> Attacher la rétention cariacou (fil de fer)		PINCE COUPANTE	FIL DE FER	
Ogive	<input type="checkbox"/> Vérifier que les câbles en nylon sont complètement sortis en butée	BERTRAND / ARMELLE			
Mallette à outils	<input type="checkbox"/> PREPARER LA MALETTE A OUTILS - SUIVRE LES LISTES OUTILS ET PIECES VOL (Colones noire et bleue)	ARMELLE			
Global	<input type="checkbox"/> Serrer toutes les vis	BERTRAND / FRANCOIS	CLES ALENE	VIS M3 AU CAS OU	
TRANSPORT EN TENTE CLUB	Départ en camion de transport de troupe à 8h	TOUS			
Tente Club					
	<input type="checkbox"/> Prendre deux gants	FRANCOIS	4 SUPPORTS FUSEE		
	<input type="checkbox"/> Prendre un sac poubelle	ARMELLE	GANTS LATEX		
			SACS EN PLASTIQUE		
Etage Reflex	<input type="checkbox"/> Insérer le jack, masquer le capteur optique, mettre l'interrupteur d'alimentation sur ON	BERTRAND / PIERRE G	TOURNEVIS FIN		
	<input type="checkbox"/> Vérifier que l'état des del est conforme (del Alim et jack allumées, del capteur optique éteinte)		FEUILLE EN PAPIER		
	<input type="checkbox"/> Vérifier que la del du capteur optique change d'état lorsque le masque est retiré				
	<input type="checkbox"/> Mettre l'interrupteur d'alimentation sur OFF, démasquer le capteur optique, retirer le jack				
	<input type="checkbox"/> Vérifier que la carte de MEO est bien fixée à la pâte à joint		PATE A JOINT		
	<input type="checkbox"/> Vérifier que les patins sont bien en place				
	<input type="checkbox"/> Vérifier les vis (sauf les vis marquées)				
Global	<input type="checkbox"/> Vérifier toutes les vis lanceur	FRANCOIS	CLES ALENE	VIS M3 BRUNES	
GO TO RAMPE DE LANCEMENT		TOUS			



Rampe de Lancement			
Global	<input type="checkbox"/> Insérer Stimulus sur la rampe Mederix	BERTRAND + FRANCOIS	
Etage récupération	<input type="checkbox"/> Badigeonner le haut du tube récup de graisse au lithium (éviter le contour de la porte para)		2 PINCEAUX + GRAISSE
Etage Electronique	<input type="checkbox"/> Badigeonner le tube élec de graisse au lithium en évitant le contour des trappes	ARMELLE / FRANCOIS	SAC EN PLASTIQUE TORCHON POUR ESSUYER LES EXCEDANTS DE GRAISSE
Etage Thermique	<input type="checkbox"/> Badigeonner l'étage thermique de graisse au lithium : tiges + déflecteur (sauf les antennes)		
Etage Reflex	<input type="checkbox"/> Vérifier l'absence de corps étranger dans l'ogive de Stimulus		LAMPE DE POCHE
	<input type="checkbox"/> Vérifier l'absence de corps étranger dans l'étage Reflex de Stimulus	ARMELLE / FRANCOIS	
	<input type="checkbox"/> Lubrifier l'intérieur du tube Reflex sur 15cm de longueur (graisse au lithium)		PINCEAUX + GRAISSE
	<input type="checkbox"/> Lubrifier le rail (graisse au lithium)		
Reflex	<input type="checkbox"/> Mettre en place la ficelle de rétention de Reflex (couleur BLANCHE)	BERTRAND	FICELLE RETENTION REFLEX
	<input type="checkbox"/> Mettre la caméra Reflex sur ON	ARMELLE	
	<input type="checkbox"/> Plier le parachute Reflex dans les demi-coques		2 DEMI-COQUES REFLEX
	<input type="checkbox"/> Insérer les demi-coques dans le tube		MANOMETRE
	<input type="checkbox"/> Placer les demi-coques dans la petite bague en alu		GRANDE PINCE COUDEE POUR DURITES REFLEX
	<input type="checkbox"/> Insérer les 3 billes de la sépa	BERTRAND + FRANCOIS + ARMELLE	BILLES DE SEPA
	<input type="checkbox"/> Fermer la séparation (avec l'outillage "Francois")		OUTILLAGES "Francois"
	<input type="checkbox"/> Charger le vérin à 6 bars		POMPE A AIR
	<input type="checkbox"/> Masquer le trou de la durite pneuma par du chaterton		SCOTCH CHATERTON + CISEAU
	<input type="checkbox"/> Tester la tenue de Reflex		JACK REFLEX 3.5mm + FICELLE
	<input type="checkbox"/> Brancher le Jack Reflex (3 mm)	BERTRAND	
	<input type="checkbox"/> Insérer Reflex dans l'ogive (trait gris sur pointillés ogive)	ARMELLE / BERTRAND	
	<input type="checkbox"/> Fermer l'ogive		
	<input type="checkbox"/> Mettre l'interrupteur d'alimentation REFLEX sur ON	BERTRAND	TOURNEVIS FIN
	<input type="checkbox"/> Vérifier que l'état des DELS REFLEX est conforme (cf. ci-dessous "ETAT STAND-BY")	BERTRAND	FEUILLE EN PAPIER
	<input type="checkbox"/> Mettre l'interrupteur d'alimentation REFLEX sur OFF	BERTRAND	
	<input type="checkbox"/> Ajuster le potentiomètre du capteur optique si besoin et reprendre à "Insérer Reflex dans l'ogive"	BERTRAND / PIERRE G	TOURNE VIS PLAT TRES FIN
	<input type="checkbox"/> Vérifier l'accès de la rétention cariacou (fil de fer)		
	<input type="checkbox"/> Vérifier que la ficelle BLANCHE est accessible		
	<input type="checkbox"/> Vérifier que la ficelle ROUGE du jack est accessible	ARMELLE / BERTRAND	
	<input type="checkbox"/> Attacher la ficelle ROUGE du jack (nœud coulant)		
	<input type="checkbox"/> Ajouter la pâte à Bismark (si nécessaire)		PATE A BISMARK
	<input type="checkbox"/> Prendre des photos	FRANCOIS	
	<input type="checkbox"/> Accrocher les ficelles jacks Stimulus à la rampe Mederix	BERTRAND	FICELLE EN RABE AU CAS OU
	<input type="checkbox"/> Scotcher la pince coupante pour le pyro au niveau de la bague propu	FRANCOIS	PINCE COUPANTE + SCOTCH
	<input type="checkbox"/> Vérifier les jacks Stimulus	ARMELLE	
	<input type="checkbox"/> Allumer la caméra Reflex grâce au beeper		BEEPER CAMERA REFLEX
	<input type="checkbox"/> Caméra ON via le trou dans l'ogive	ARMELLE	TOURNE VIS PLAT TRES FIN
	<input type="checkbox"/> Appuyer sur A (beeper) - 5 vibrations + DEL rouge clignote 5 fois		
	<input type="checkbox"/> Appuyer 1 fois sur B (beeper) - 2 vibrations + DEL rouge clignote 2 fois = enregistrement		
	<input type="checkbox"/> Allumer les 2 caméras lanceur (utiliser le crayon à papier)		CRAYON A PAPIER
	<input type="checkbox"/> Appuyer 1s sur le bouton du bas (DEL bleue puis jaune)	ARMELLE	
	<input type="checkbox"/> Appuyer sur le bouton du milieu jusqu'à avoir la DEL bleue - constant		
	<input type="checkbox"/> Appuyer sur le bouton du haut jusqu'à avoir la DEL bleue - clignotante = enregistrement		
	<input type="checkbox"/> Basculer l'interrupteur pyro en position "SECURITE"		
	<input type="checkbox"/> Interrupteurs sur ON :		
	<input type="checkbox"/> Interrupteur Reflex (S'allume Vert quand ON)	PIERRE G	
	<input type="checkbox"/> Interrupteur Stimulus Récupération		
	<input type="checkbox"/> Interrupteur Stimulus MAF		
	<input type="checkbox"/> Vérifier les DELs:	PIERRE G + BERTRAND	

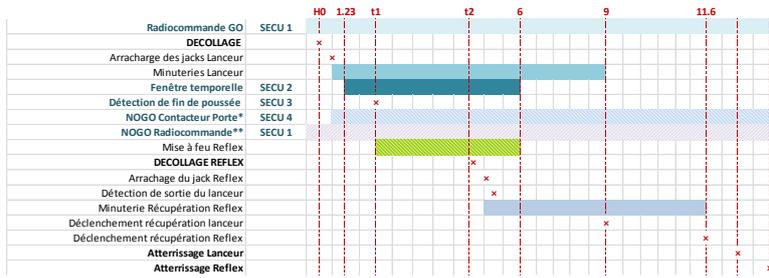
ETAT STAND BY :			
MISE A FEU	OK	ALIM	Stand by
	OK	ALIM ARDUINO	Stand by
	OK	JACK	Jack inséré
	ETEINTE	TEMPO	Fenêtre temporelle en cours
	ETEINTE	PUSSEE	Fin de poussée détectée
	OK	IMU	Attitude lanceur ok
RECUP' LANCEUR	OK	ALIM	Stand by
	OK	JACK	Arrachage du Jack
	OK	ALIM	Stand by
RECUP' REFLEX	ETEINTE	C. OPTIK	Reflex à l'extérieur du lanceur
	OK	JACK	Arrachage du Jack

GO TO PUPITRE			
Pyrotechnique	<input type="checkbox"/> Insérer le cariacou tout en retenant Reflex par la ficelle de rétention de couleur BLANCHE	Pyro	
	<input type="checkbox"/> Serrer les fils de fer du Cariacou	Pyro	
	<input type="checkbox"/> Couper la ficelle de rétention (couleur BLANCHE)	Pyro	PINCE COUPANTE
	<input type="checkbox"/> Insérer le Pro 54	Pyro	
	<input type="checkbox"/> Verrouiller le domino du Pro 54 à la main (bien serrer)	Pyro	
	<input type="checkbox"/> Connecter l'inflamateur du cariacou avec le connecteur rapide	Pyro	
	<input type="checkbox"/> Basculer l'interrupteur pyro orange en position "VOL"		
	<input type="checkbox"/> Enlever le shunt pyro = jack "REMOVE BEFORE FLIGHT" rouge	Pyro	
DEPART DU PYRO		Pyro	
DECOMPTE FINAL		TOUS	
APPUYER SUR LE BOUTON I		???	
DECOLLAGE			



cf Séquentiel

SEQUENTIEL DE VOL - MATRIOCHKA



* Si le contacteur envoie un NOGO, la séquence de mise à feu est stoppée

** Si l'opérateur envoie un signal NOGO, la séquence de mise à feu est stoppée

Données Stab/Traj

Fin de propulsion Pro 54	3.23	s
Début de la fenêtre temporelle	1.23	s
Fin de propulsion + 2s	5.23	s
Apogée	12.8	s
Apogée - 2s	10.8	s
Fin de la fenêtre temporelle	6	s entre 5 et 11 s
Apogée Reflex	5.6	s après la mise à feu Reflex

FIN DE VOL
RECUPERATION

TOUS

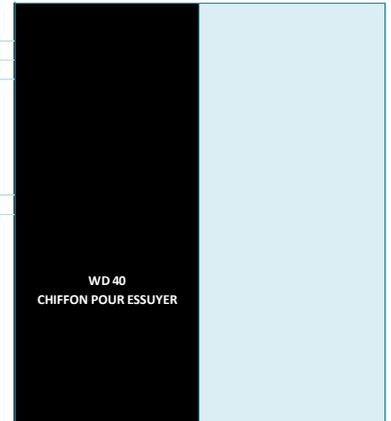
<input type="checkbox"/>	Eteindre la carte de Récup et de MAF (PositionS OFF sur la carte de MEO)
<input type="checkbox"/>	Eteindre la carte de Récup Reflex asap
<input type="checkbox"/>	Eteindre les deux caméras lanceur
<input type="checkbox"/>	Appuyer sur le bouton du haut - Arrêt de l'enregistrement
<input type="checkbox"/>	Appuyer longement sur le bouton du bas - le DEL s'éteint
<input type="checkbox"/>	Eteindre la caméra Reflex
<input type="checkbox"/>	Appuyer sur B (beeper) - 1 vibration - DEL rouge
<input type="checkbox"/>	Appuyer sur A (beeper) puis Caméra OFF (nécessite d'avoir accès à la caméra)
<input type="checkbox"/>	Prendre des photos (inspection pour analyse post-vol + équipe)

REMISE EN CONF

<input type="checkbox"/>	Nettoyage de toutes les parties graissée à la WD40 + essuyer
<input type="checkbox"/>	Enlever toutes les batteries et les ranger dans la caisse (lanceur + juste les débrancher pour Reflex)
<input type="checkbox"/>	Récupérer la carte SD lanceur
<input type="checkbox"/>	Démonter les supports caméras lanceur + Reflex et récupérer les images
<input type="checkbox"/>	Prendre des photos
<input type="checkbox"/>	Démonter le lanceur et Reflex
<input type="checkbox"/>	Les remettre dans la caisse

POST VOL

<input type="checkbox"/>	Analyser les donnés de la carte SD
<input type="checkbox"/>	Analyser les photos d'inspection faites durant la récupération
<input type="checkbox"/>	Récupérer les cartes SD des trois caméras
<input type="checkbox"/>	Analyse des vidéos de vol



4. Séquentiel de vol

Le vol se déroule en plusieurs phases (voir le schéma ci-dessous) :

- 1- Sortie de rampe de l'ensemble lanceur + charge utile
- 2- Phase de poussée du PRO54 (pendant ces phases les calculs de Trajecto sont valables)
- 3- Une fois les conditions réunies (notamment la fin de propulsion PRO54), mise à feu du Cariatou
- 4- Ejection de Reflex
- 5- Phase de poussée Reflex grâce au moteur Cariatou
- 6- Retombée sous parachute du lanceur Stimulus
- 7- Retombée sous parachute de la minifusée Reflex
- 8- Impact sol de la minifusée Reflex
- 9- Impact sol du lanceur Stimulus
- 10- Récupération des deux étages

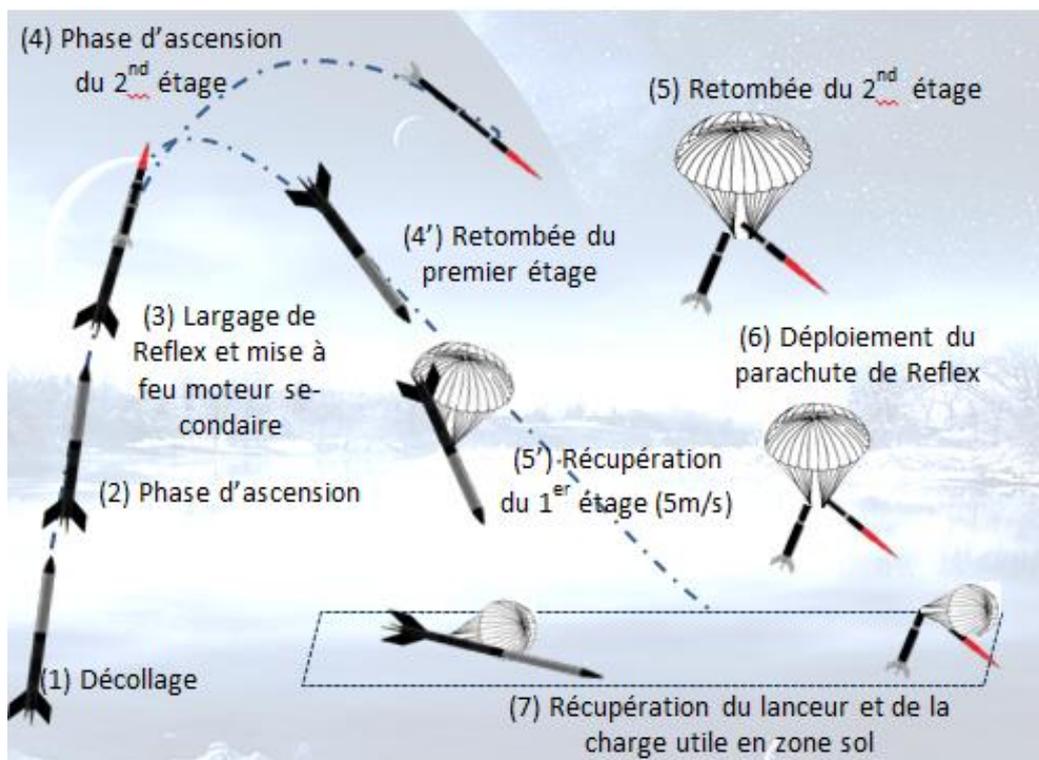


Figure 46 Scénario de Vol Nominal

H0 - Allumage Pro 54

H0 + **0,49 s** - Sortie de rampe **STAB TRAJ**

H0 + **3,60 s** - Fin de propulsion du Pro 54 **STAB TRAJ**

H0 + **5,00 s** - Début de fenêtre tempo **EXPLIQUEE AU CHAPITRE 6**

H1 - Allumage Cariatou / Séparation / Ouverture ogivale => Largage du 2nd étage

H1 + **0,95 s** - Fin de propulsion Cariatou **STAB TRAJ**

H0 + **8,00 s** – Fin de fenêtre tempo **EXPLIQUEE AU CHAPITRE 6**

Récupération des deux étages

H0 + **8,20 s** - Top récupération 1er étage

H1 + 4,00 s - Top récupération 2nd étage

H0 + **66,0 s**

H2 - Impact sol 1er étage

H2 + **30,0 s** - Impact sol 2nd étage

H2 + X min - Récupération terrestre des étages

La fenêtre temporelle ne doit pas commencer trop tôt. En effet, la résistance de l'air s'appliquera sur les pièces d'ogive du lanceur et freinera donc la cinématique d'éjection de la charge utile. Bien qu'il a été vérifié que le Cariatou serait en mesure d'éjecter la charge utile à tout instant de la trajectoire, il paraît indiqué de ne pas tenter une éjection à trop haute vitesse.

La fenêtre temporelle ne doit pas non plus finir trop tard pour deux raisons. Tout d'abord, une éjection trop proche de l'apogée pourrait mener la charge utile sur un vecteur trop proche de l'horizontale. Ainsi, avec une apogée à H0 + 11.2s (**STAB TRAJ**) l'instant pour lequel l'angle entre l'axe longitudinal du lanceur et le sol passe à moins de 55° est H0 + 8s (**STAB TRAJ**), considérant donc qu'une éjection passée cet instant engendrerait un risque trop important pour la sauvegarde sol.

D'autre part, plus cette même fenêtre temporelle finit tard, plus elle retarde l'instant de déclenchement de la récupération lanceur. Hors, pour assurer de bonnes conditions de récupération lanceur, il est capital de déclencher celle-ci aussi tôt que possible après l'éjection. Lire également le chapitre 6 sur le temps de déclenchement de la récupération lanceur.

La récupération du second étage doit intervenir à l'apogée de sa trajectoire.

L'instant de l'impact sol du premier étage a été estimé à l'aide de Trajecto, en considérant que cette valeur est ainsi approchée de manière suffisamment satisfaisante compte tenu du fait qu'elle n'est pas commandée par l'équipe du projet.



SEQUENTIEL DE VOL - MATRIOCHKA

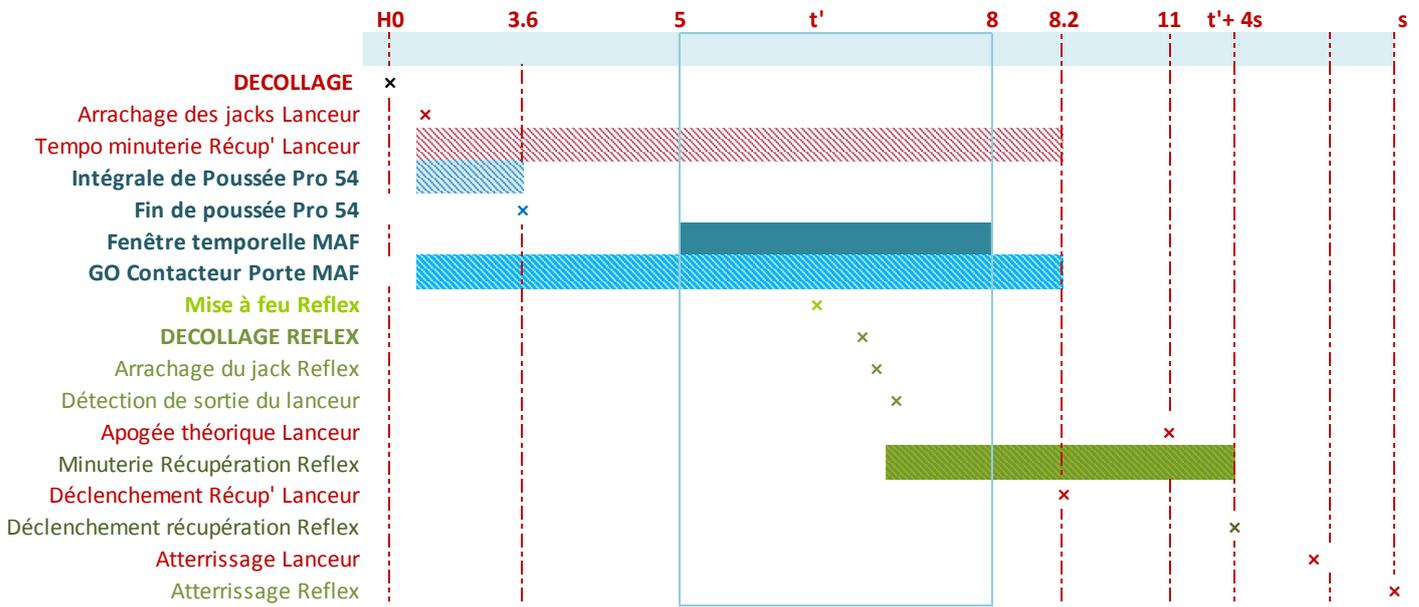


Figure 47 Séquentiel de Vol Nominal



Chapitre 10 : Analyse post lancement

1. Rappel des objectifs

OBJECTIF 1 : L'objectif principal du projet Matriochka est d'offrir le transport de minifusées à d'autres clubs qui n'ont pas forcément de fusées expérimentales et qui pourtant souhaiteraient atteindre des altitudes significatives tout en se formant à la fuséologie.

OBJECTIF 2 : La réalisation d'un lanceur étant cependant onéreuse, le second objectif du projet est de réaliser un lanceur réutilisable.

Le vol du projet Matriochka permet de valider le système de séparation chaude développé pour séparer le second étage. La validation de ce système reposa sur la visualisation de la séparation elle-même grâce à deux caméras qui ont fourni l'essentiel des informations nécessaires à une première validation :

- Une caméra intégrée dans la minifusée Reflex
- Une seconde caméra dans le lanceur pointée sur la minifusée
- Un enregistrement à bord des données relevées pendant le vol du lanceur Stimulus (centrale inertielle)

Par ailleurs, un système de bagues permettant de faire coulisser les ailerons a été mis en place sur la partie basse. Ce système permis au lanceur d'adapter la position de son centre de masse et donc de s'adapter à la masse de la minifusée à embarquer. Ce système a également été validée grâce à une caméra embarquée et aux observations du vol (faisant suite et validant l'étude théorique présentée au chapitre 5.2)

L'ensemble de ces caméras ainsi que le suivi aux jumelles depuis les locs et la zone public permis d'analyser le comportement global du lanceur et de la minifusée au cours de ce vol actif. Cette analyse permis ainsi de valider de Matriochka. Cette analyse fournit les entrées nécessaires à l'amélioration du système dans le cas où un second projet serait réalisé en utilisant le même design dans une version 2.0.

Suite au vol d'inauguration du lanceur, l'équipe procédera à la remise en condition de vol du lanceur (prévu pour Novembre 2017). Le but est de prouver que le délai et le budget nécessaires sont respectivement d'un mois et de 10% de son coût initial de fabrication (soit 230€). Le résultat de cette phase de maintenance sera ajouté au présent rapport et analysé. Une nouvelle équipe serait alors hypothétiquement en mesure d'utiliser le lanceur pour faire voler une charge utile différente.



2. Résultat

Matriochka a été qualifiée le mardi 18/07/2017 après quelques péripéties due à l'électrovanne de Reflex (électrovanne qui sera offerte en sacrifice à une date indéterminée). Bref, rendez-vous sur l'aire de lancement le mercredi 19/07 à 8h pour un petit trajet en bus jusqu'à la tente club. Le camion de transport de troupes emmena l'équipe et Matriochka en zone fusex vers 11h. La chronologie Matriochka aura finalement duré plus de 3h ! Une description des anomalies et potentielles améliorations du lanceur et de la minifusée est rédigée plus loin dans ce chapitre.

Résultat en deux mots et une image :



Figure 48 Double nominal !

Et encore merci à Hugo pour cette photo génialissime qui veut tout dire !

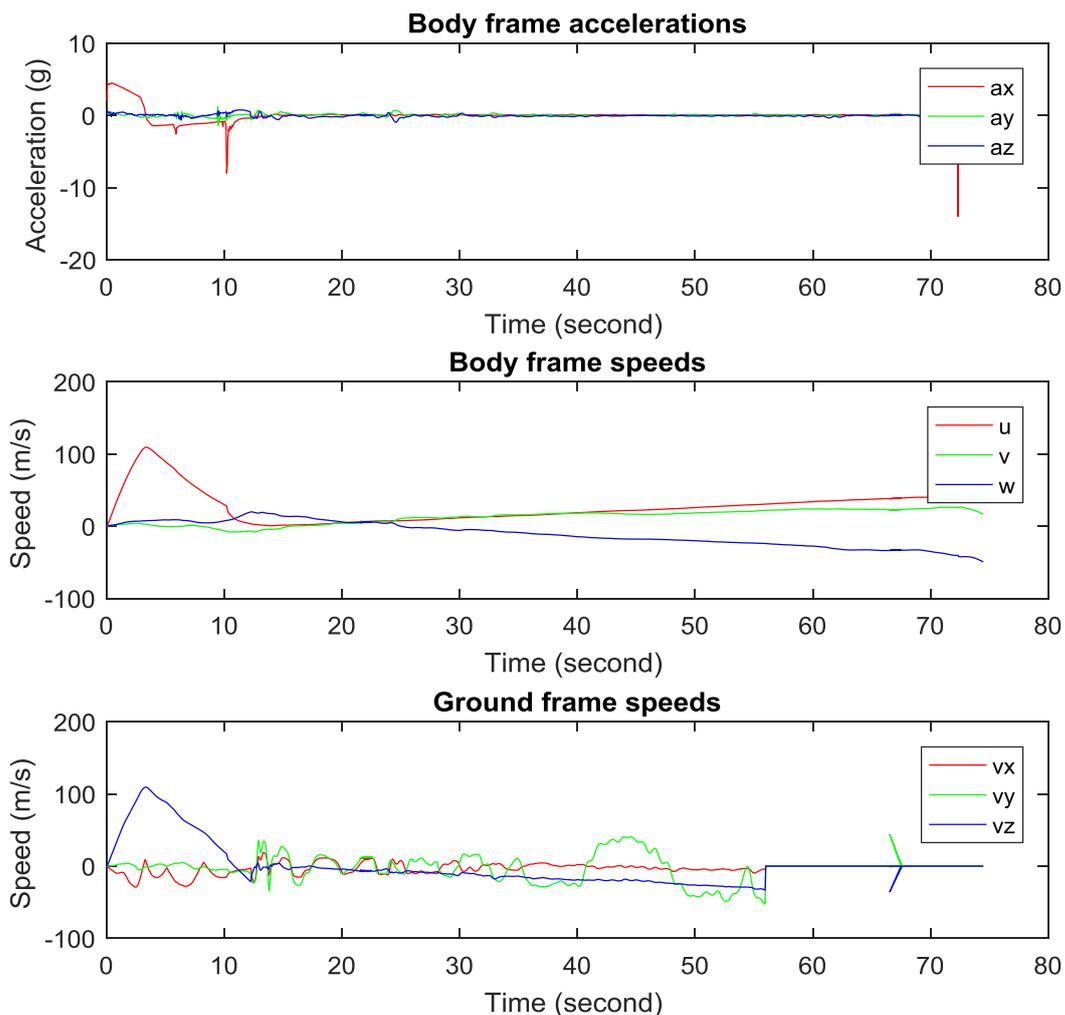
3. Analyse des vidéos

3.1. Vol Stimulus

L'objectif du sous-chapitre est d'analyser la vidéo de vol du premier étage afin de comparer les instants de vol (à 0.5 secondes prêt) déterminants aux enregistrements sur le module Arduino.

Temps vidéo	Temps arduino	Temps Stab-Traj	Événement
0	0	0	Allumage pro54
1	?	?	Sortie de rampe
6	6	?	Allumage Cariacou
9	?	?	fin de buzzer
10	10	9	Ejection porte parachute
11-13	12	11,5	Apogée
74	72	80	Impact Stimulus

Ci-dessous les courbes d'accélération spécifique et de vitesse (respectivement dans le repère fusée puis dans le repère sol. Le pic d'accélération spécifique est de 4,5 g (contre 5,5 g sur StabTraj). Les vitesses maximales sont cohérentes à StabTraj qui donnent 106 m/s.



3.2. Vol Reflex

La fonctionnalité de notre système a été validée par une observation. En effet, la photo (figure 14) présentée précédemment offre de manière très claire la réponse tant attendue : Reflex a bien été éjecté depuis le lanceur en plein vol !

Reflex ne possédait pas de centrale inertielle, la trajectographie repose donc sur les calculs théoriques de Stab/Traj mais également sur la vidéo du vol de cette dernière.

La vidéo porte à croire que tout s'est déroulé nominalement puisque la caméra filme la sortie du lanceur (passant ainsi de l'obscurité du tube lanceur à la lumière intense du ciel). La caméra a du saturer à cet instant car il faut attendre quelques secondes pour effectivement observer un mouvement de la fusée qui traverse les nuages. Reflex traversa ainsi la couche nuageuse puis on constate un mouvement très rapide de la fusée en roulis mais aussi en tangage correspondant à la séparation transversale, au déploiement du parachute et bien entendu à la descente sous parachute.

La vitesse de chute semble cependant élevée, on peut donc supposer que le parachute se soit déployé non-nominalement ou alors que le vif mouvement autour des axes de roulis et de tangage aient pu emmêler les suspentes. Si un second vol devait avoir lieu, une séparation transversale ne serait sans doute pas le choix le plus aisé. La chronologie au sol pour une séparation transversale est de plus très chronophage et demande beaucoup de concentration. De nombreuses manipulations sont requises et il faut également prier le dieu de la pneuma pour avoir suffisamment d'autonomie ! Possible donc mais relativement stressant...

Finalement, la caméra de Reflex nous a offert une superbe vidéo puisqu'elle a également filmé une partie de la descente de Stimulus sous parachute, joli clin d'œil !

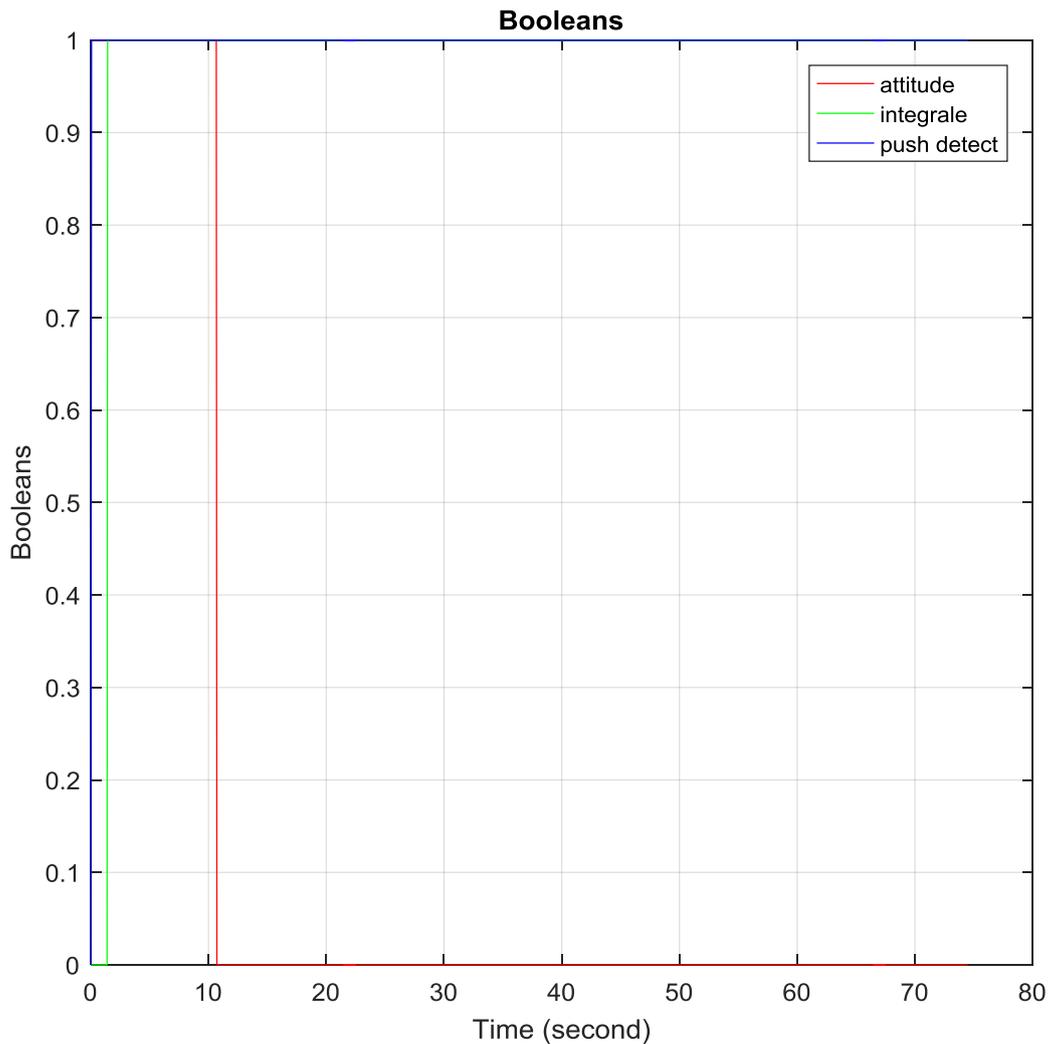


3. Analyse de courbes de vol - Stimulus

Le module n'enregistre pas l'état de la fenêtre temporelle et du contacteur de porte. Au vue des vidéos, ces sécurités ont correctement fonctionnés.

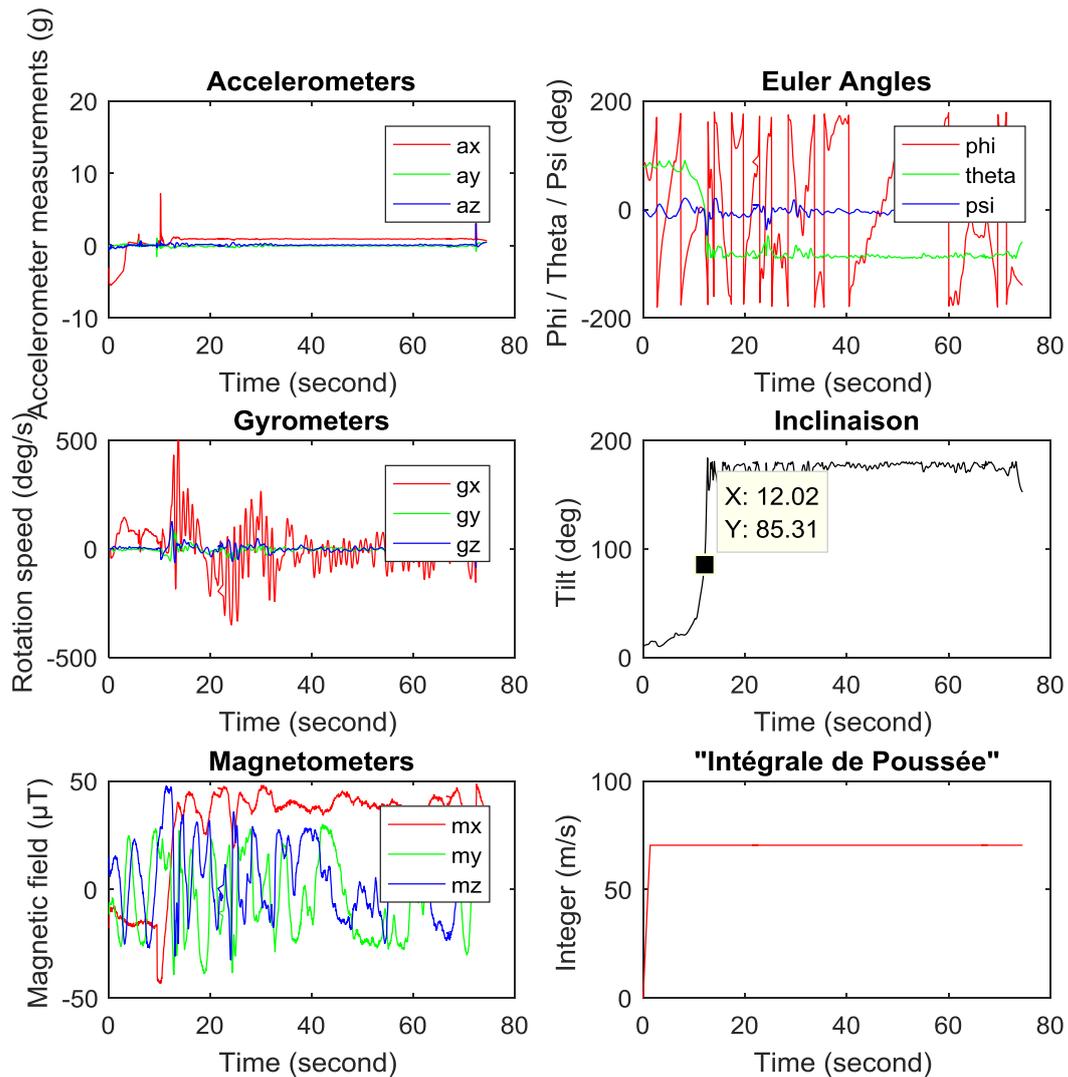
En revanche nous connaissons :

- L'instant de déclenchement de l'intégrale de poussée
- L'état de sortie de la fonction d'intégrale de poussée
- L'état de sortie de la fonction de vérification d'inclinaison



L'intégrale de poussée s'est activée dès la sortie de rampe. A 1,4 seconde, l'intégration a franchi le seuil programmé lors du C'Space. Lors des contrôles de la fusée, les contrôleurs ont demandé une marge sur l'intégrale de poussée afin de ne pas avoir d'interdiction de vol à cause d'un seuil surestimé. Le seuil programmé était de 70Ns au lieu de 140 Ns, qui théoriquement permet le franchissement du seuil à 2,9 secondes.

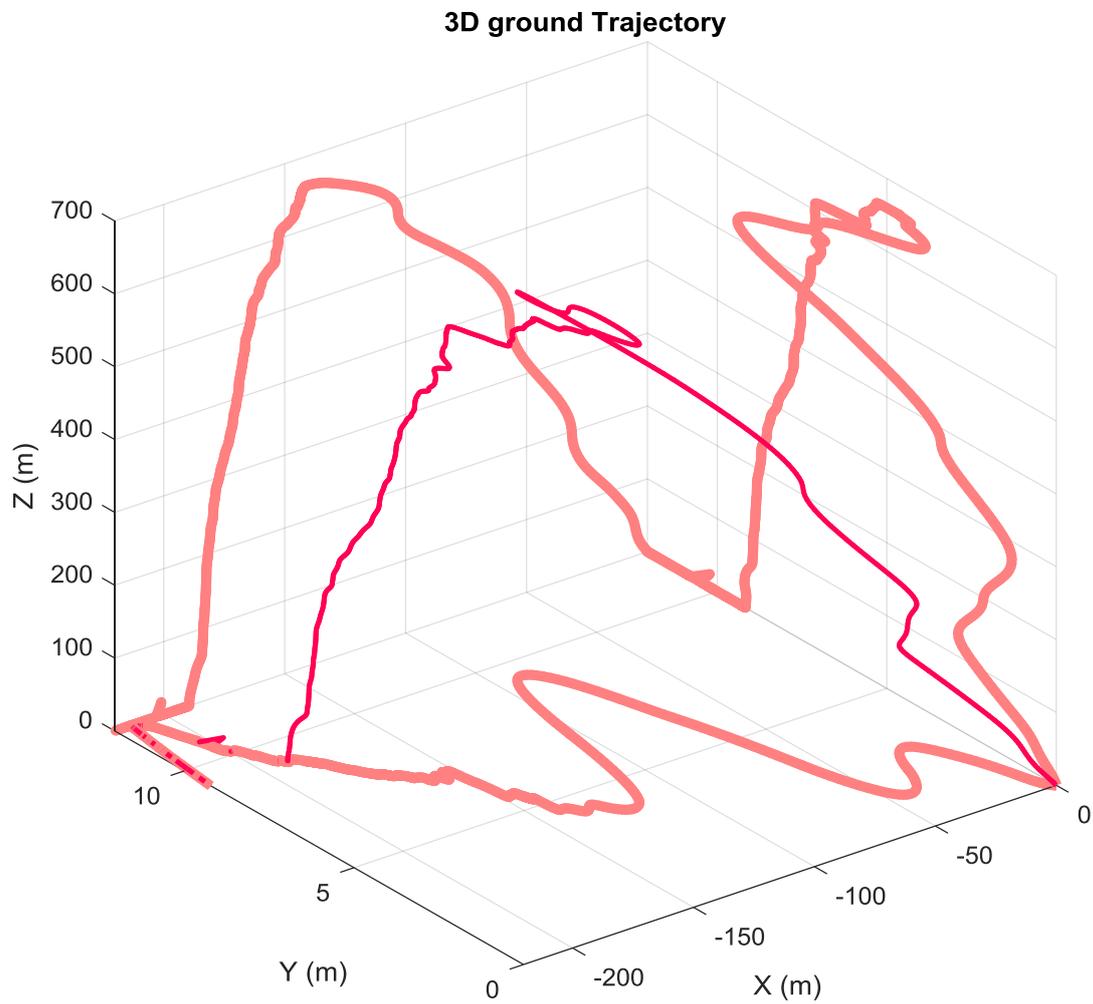
A 10,66 secondes, l'assiette de la fusée est inférieure à 50°. Au vue de l'activation des sécurités, la mise à feu a dû être déclenchée environ 5 secondes après le débranchement du jack grâce à la fenêtre temporelle.



En phase de montée, Stimulus a un léger spin qu'on peut observer sur la courbe de roulis, la vidéo et le 'gx' des gyromètres. L'inclinaison passe à 90° après 12 secondes de vol. La pente de l'intégrale de poussée est linéaire et en supposant un seuil de 140, on retrouve bien le temps de poussé nominal du Pro54.



En l'absence de calibration avant-vol, les courbes de trajectographie sont biaisées (principalement lors de la redescente sous parachute). On notera tout de même l'altitude de l'apogée à 634 m.



Les tracés en rose épais sont les projections de la trajectoire sur les différents plans.



4. Analyse de la campagne de lancement

4.1. Contrôles fusex

4.1.1. Contrôles fusex - Mécanique

Les contrôles mécaniques ont été réalisés le dimanche 16 juillet sur une après-midi entière. En effet, le but était de reprendre à zéro tous les tests du cahier des charges fusex ainsi que de prendre en compte les nouveaux paramètres du futur cahier des charges bi-étage (rédigé par Bertrand BOCQUET lors de son stage au CNES durant l'été 2017).

Le point inquiétant pour nous était la flèche car après 1 an de stockage et sans avoir eu le temps de procéder à de nouveaux tests en amont de la campagne de lancement, ce test était réellement pour nous un point charnière. Et ce fut avec soulagement que le test se révéla plus que concluant puisque la flèche était quasi nulle ! Le reste des tests mécaniques s'est déroulé nominalement, doucement mais sûrement. Le dimanche soir, la mécanique du lanceur était complètement qualifiée, y compris le dimensionnement des ailerons profilés.

4.1.2. Contrôles fusex - Electronique

Tests sécurités vol : validation des sous fonctions de la carte de mise à feu et la ligne de puissance n'est pas alimentée.

Sous-fonctions	Remarque	Validation
Attitude de Stimulus	Azimut non validé	Accepté *
Intégrale de poussée	Mode test	OK
Débranchement jack mise à feu	Tempo entre 5 et 8 sec	OK
Contacteur de porte	/	OK

Dans les tests suivants, pour initialiser l'essai on doit :

- Activer l'intégrale de poussée en mode test
- Procéder au débranchement des jacks de mise à feu et de récup en même temps

Tests sécurités sol : Matrice d'essai utilisée lors de la campagne avec alimentation de la ligne de puissance.

Tests sécurités sol	Shunt présent	Shunt retiré
Interrupteur Désarmé	OK (buzzer éteint, led éteinte)	OK (buzzer éteint, led éteinte)
Interrupteur Armé	OK (buzzer sonne, led éteinte)	OK (buzzer sonne, led allumée)
Bilan		
Déclenchement buzzer et led pendant la fenêtre de 5 à 8 s		OK
Déclenchement récup 9s		OK



Tests dégradés : cas dégradés avec 3 sécurités vol à l'état haut sur les 4 existantes. Sachant que grâce à la fenêtre temporelle, seules deux sécurités sont activées et une seule sécurité activée avant le début de l'intégrale de poussée.

Tests sécurités vol	Carte de Récupération	Buzzer Armement	Led Mise à feu	Led fenêtre	Validation
Intégrale de poussée désactivée	Etat haut après 9 sec	éteinte	éteinte	Allumé 5 à 8 sec	OK
Jack mise à feu non débranchée	Etat haut après 9 sec	éteinte	éteinte	éteinte	OK
Contacteur de porte appuyé à haute fréquence	Désactivée pour le test	éteinte	éteinte	Allumé 5 à 8 sec	Accepté *
Inclinaison non favorable	Etat haut après 9 sec	éteinte	éteinte	Allumé 5 à 8 sec	OK
Bilan					
Pas de déclenchement de la mise à feu en cas dégradé (3 sécurités vol sur 4 en état haut)					OK
Fonctionnement de la porte logique AND du circuit de mise à feu					OK
Sécurités vol fonctionnelle					OK
Déclenchement de la carte de récupération du lanceur après la mise à feu					OK

Tests complets sans Reflex : Essai sur le simulateur d'inflamateur Planète Sciences utilisant un fusible. Ce test valide notre électronique de Puissance et la robustesse de notre MOSFET.

Critères	Requis	Réalisé	Validation
Courant	> 4 Ampères	6A	OK
Temps d'inflammation	> 30 ms	100 ms	OK
Nombre de test	/	Au moins 5	OK
Bilan			
Spécification du MOSFET			OK
Résistance en essais cycliques			OK
Fonctionnement de la carte de Mise à Feu et Récupération en synchronisé (respect des tempo minuteries)			ELECTRONIQUE ROBUSTE

A la suite nous avons réalisé le vol simulé avec Reflex intégré, et le vol simulé a été positif pour l'électronique de Stimulus.

* La mention « **Accepté** » signifie que les contrôleurs Planète Sciences nous ont donné un conseil d'amélioration à décrire dans le dossier pour aider de futures bi-étage active.

4.2. Contrôles minif

Le dimanche, puisque les contrôles fusex se déroulaient bien, nous avons décidé de passer aux contrôles minifusée pour Reflex. Malheureusement nous avons eu des problèmes avec la séparation transversale de cette dernière... alors que de nombreux tests avaient été réalisés avant la campagne, la sépa à bille décida de nous faire du souci encore une fois. Cependant, il fut extrêmement difficile de comprendre d'où venait le problème car nous réussissions à fermer la fusée mais le maintien était



trop faible ce qui ne correspondait ni à un problème de pression ni à un problème électronique. Il s'agissait donc d'une anomalie liée directement à la mécanique de la séparation... N'ayant pas nous même conçu cette partie, nous avons demandé conseils auprès de Julien Boldrini, ancien de l'ESO, qui fut membre de la fusée bi-étage *Courage*. Nous avons ainsi pu jouer sur le réglage de cette dernière, en effet les billes ne sortaient pas de manière symétrique, il y a avait un manque de pression sur l'une d'entre elle d'où une mauvaise tenue ! Nous avons ainsi ajouté un peu de scotch pour palier au jeu et surtout, nous avons tourné légèrement la coupelle conique qui effectivement à l'œil n'était pas en rotation mais plutôt en liaison rotule avec la tige du vérin d'où un jeu sur une des billes dans une certaine position.

Premier soulagement donc !

Mais à 23h, alors que nous effectuions des tests de tenue de la séparation à billes, c'est l'électrovanne qui décida de prendre congé...

Après quelques tests, l'électrovanne refonctionna et nous passions tous les contrôles minif sans encombre.

4.3. Vols simulés

Premier vol simulé le lundi soir, suivi parfait de la chronologie de vol avec quelques améliorations... puis à nouveau l'électrovanne de Reflex décida de nous lâcher.

Fatigués et encore sous le coup de la soirée précédente durant laquelle nous envisagions presque de quitter la campagne, il nous aura fallu une grande dose d'optimisme et puiser dans nos ressources pour entamer la résolution de cette anomalie.

L'électrovanne a ainsi été changée au profit d'une neuve. On ne saura jamais pourquoi nous en avons commandé deux mais avoir des pièces de rechange, ça sauve la vie !

Retour aux contrôles le mardi pour un ultime vol simulé qui fut le bon.

4.4. Chronologie

Il fut décidé par toute l'équipe de garder le mardi soir comme soirée de détente afin d'être reposés pour le lendemain et les opérations en rampe. Le facteur humain prenant une part importante dans nos projets, nous ne voulions rien négliger pour mettre toutes les chances de notre côté.

Ainsi, les opérations au R3 ainsi qu'en tente club se sont déroulées nominalement avec le plus grand calme et la concentration de tous. Le camion de transport de troupes nous a ensuite conduits en zone fusex, moment particulier de test vibratoire. Et oui, manipuler une fusée de 3m avec sa charge utile n'est pas si simple et on pense peu aux phases de transport surtout dans un camion de l'armée ! Après avoir chanté "mon Ancêtre Gurdil" sous les yeux étonnés des russes et 4 lancements plus tard ce fut notre tour.



La chronologie dura plus de 3h, durée largement supérieure à celle estimée suite à quatre anomalies majeures :

- 1- Déboitement léger de la porte latérale du parachute Stimulus (dû au transport en camion)
 - ⇒ Nous avons dû enlever la porte et reprendre la chronologie au niveau des manipulations de la récupération lanceur
- 2- Arrachage du jack Reflex au moment de l'insertion de Reflex dans le lanceur (erreur de manipulation)
 - ⇒ Nous avons ainsi dû enlever Reflex du tube puis la réinsérer en faisant particulièrement attention à la prise jack (nous aurions dû plus nous entraîner sur cette étape)
- 3- Mauvaise compatibilité rampe liée au culot au bas du lanceur
 - ⇒ Notre pyro Nicolas Verdier a cependant trouvé une solution en augmentant la taille de la butée au bas de la rampe – une ultime solution aurait été de retirer le culot
 - ⇒ Cette anomalie aurait dû être décelée lors des vols simulés (en effet rien ne permettait de trouver ce problème avec le test de compatibilité rampe réalisé aux contrôles fusex)
- 4- Demande des pyros de modifier le système de rétention du propu Reflex (cariacou)
 - ⇒ Une seconde ficelle fut ajoutée pour retenir le moteur mais sous la supervision d'un membre du club et avec contact talky entre les pyros et le club
 - ⇒ Cette anomalie aurait dû être repérée lors des vols simulés en effectuant réellement et concrètement les manipulations du pyrotechnicien
 - ⇒ Cette anomalie peut être corrigée par nous en améliorant le système de rétention (nous avons contacté Nicolas Verdier et Pierre Omaly, les deux pyros de Matriochka à la fin du C'Space afin de mieux comprendre et donc d'améliorer le système car les erreurs servent à cela !)

Une grande respiration et on appuie sur le bouton !

4.5. Vol

Peu de choses à dire sur le vol si ce n'est qu'il était presque au-delà de nos espérances. Tout a fonctionné : la séparation Reflex et la mise à feu, la récupération de Stimulus et celle de Reflex... Waou !!!

De plus, un grand nombre de gens est venu sur la zone publique pour voir notre vol ce qui nous a emplis de plaisir.

Quelques éléments seraient cependant à améliorer :



- La tenue des ressorts d'ogive, ces derniers ont été éjectés lors du passage de Reflex, la fixation serait donc à refaire avec plus de solidité
- Les deux demi-ogives ont également été éjectées durant le vol or elles étaient censées rester accrochées sur le lanceur, les fils de nylon pourtant dimensionnés ont malheureusement cédé en dynamique, ce système serait donc à solidifier
- Il serait bon d'ajouter une centrale inertielle dans Reflex
- Ajouter une caméra pour mieux voir l'éjection de l'ogive voir de Reflex

4.6. Récupération

Le lanceur Stimulus, Reflex ainsi que l'une des demi-ogives de Stimulus ont été retrouvés immédiatement le jour du vol.

Il aura fallu attendre le lendemain pour que des équipes du CLES et de ACELSPACE trouve la seconde moitié d'ogive et son ressort, une chance il s'agissait de la moitié sur laquelle le nom Matriochka était inscrit !

Nous devons juste déclarer la perte d'un ressort, des deux supports de ressorts et des trois billes de Reflex (pour ces dernières, c'est normal !).



Figure 49 Récupération Stimulus (1)



Figure 50
Récupération Stimulus
(2)



Figure 51 Récupération Reflex

Conclusion

3 ans de projet, 3 jours intense de C'Space, 3h de chronologie pour 3 minutes de vol et surtout une intense émotion grâce au succès de la première bi-étage active de l'ESO !

Un gigantesque merci à Planète Sciences, l'ensemble des bénévoles qui ont suivi nos contrôles et notre travail. Merci tout particulièrement à Nicolas Praly, chef des contrôles lors du C'Space 2017 qui nous a épaulé jusqu'au bout. Notre projet n'était pas simple mais au-delà du défi technique notre projet était surtout motivé par une équipe de fous furieux, les matriochkins qui ont su montrer pendant trois de projet toute leur énergie et leur créativité. Il y a vraiment un peu de chacun dans ce projet et certains ont su comprendre que Matriochka n'était pas juste une « fusée » mais la fusée pour nous, merci à tous les passionnés qui ont su nous comprendre. **Nous avons fait preuve de transparence, d'humilité et de travail tout en prenant du plaisir à faire partie du projet.**

Techniquement, nous souhaitons améliorer certains points sur Matriochka dans le cas où nous volerions une seconde fois :

- Réparer le carbone sur 15mm au bas de la case de la porte parachute Lanceur
- Recommander un ressort
- Refaire deux supports pour les ressorts des demi-ogives
- Envisager un nouveau système pour la rétention des ogives et du cariacou de la minifusée
- Rédiger un cahier des charges très léger pour la minifusée en tant que charge utile

Côté communication, après la page Facebook, les badges Matriochka durant le C'Space, les polos, le crowd funding et l'IAC 2016, nous envisageons de présenter Matriochka à l'ESTACA mais également de participer au prix Espace & Industrie 2017, au 2nd Symposium of ESA Educational Activities et peut être à l'IAC 2018 qui aura lieu à Brême.

Nous souhaitons également envoyer notre retour d'expérience au CNES car la communication a été extrêmement compliquée et inefficace malgré nos efforts. Beaucoup d'incompréhensions qui ont même été loin puisque l'équipe elle-même s'est étonné des réticences à répétition de la part du CNES envers notre projet et a pensé que le CNES ne voulait peut être pas nous voir voler ! **Aujourd'hui nous souhaitons être constructifs pour les futurs projets et étudiants afin que l'innovation ait toujours sa place au C'Space et en France.** Le C'Space doit ouvrir des portes et non les fermer... Seulement, complexifier les projets implique aussi un meilleur investissement de la part de la commission technique. Il serait vraiment intéressant de pouvoir faire des revues techniques avec le CNES et Planète Sciences : une pour le design et une au moins lors de la réalisation. Il pourrait être bien de systématiquement désigner un tuteur CNES et un suiveur Planète Sciences afin de faciliter la communication et améliorer le suivi technique afin d'augmenter les chances de succès et de limiter les problèmes au C'Space, certains commentaires ou exigences faites au C'Space sont parfois inutiles ou destructrices car trop tardives. **Certains d'entre nous sont également prêts à aider dans le suivi de futurs projets bi-étage et spéciaux, n'hésitez donc pas à nous contacter !**



Annexes

Annexe 1 : Schémas électroniques

➤ Carte de Récupération Lanceur

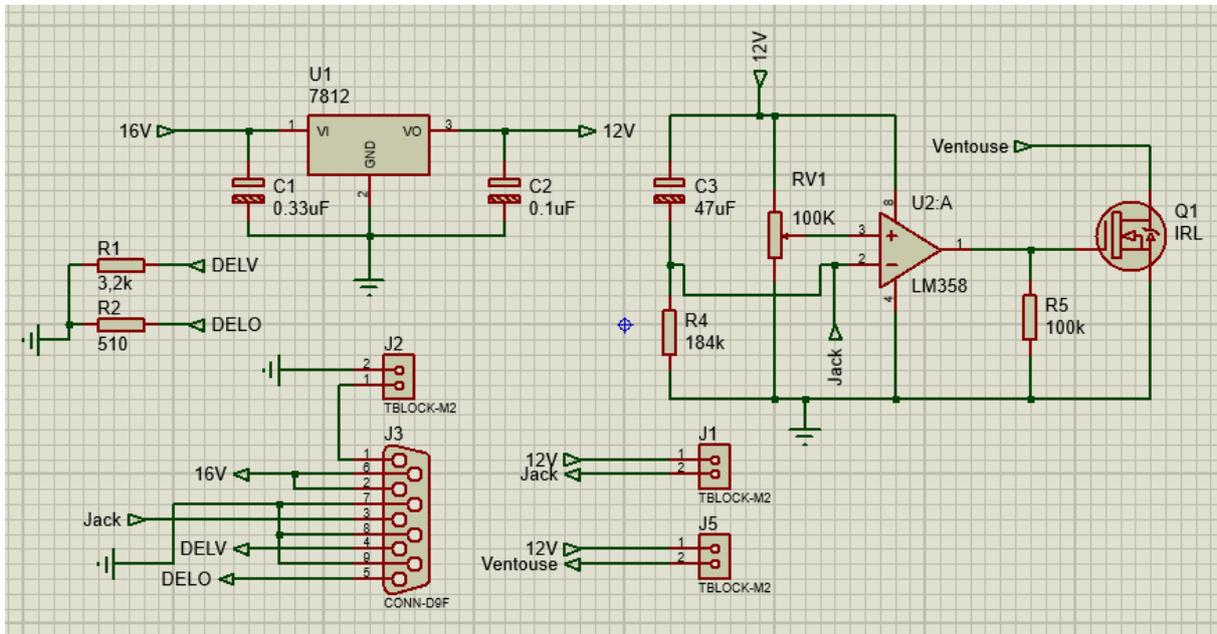


Figure 52 Récupération Lanceur – Schéma

NOTA : une diode de roue libre a été ajoutée sur le LM358

ERRATUM 1 : R4=200 K Ω

ERRATUM 2 : R2=5 K Ω

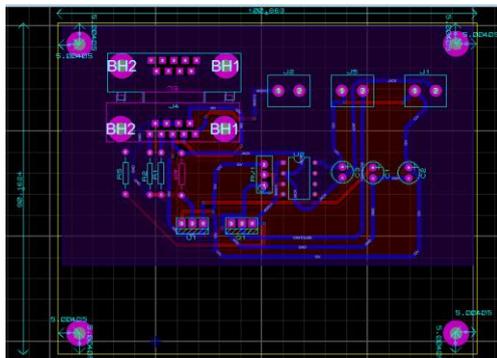


Figure 54 Récupération Lanceur - Routage



Figure 53 Récupération Lanceur - Photo

➤ Carte de Récupération Reflex :

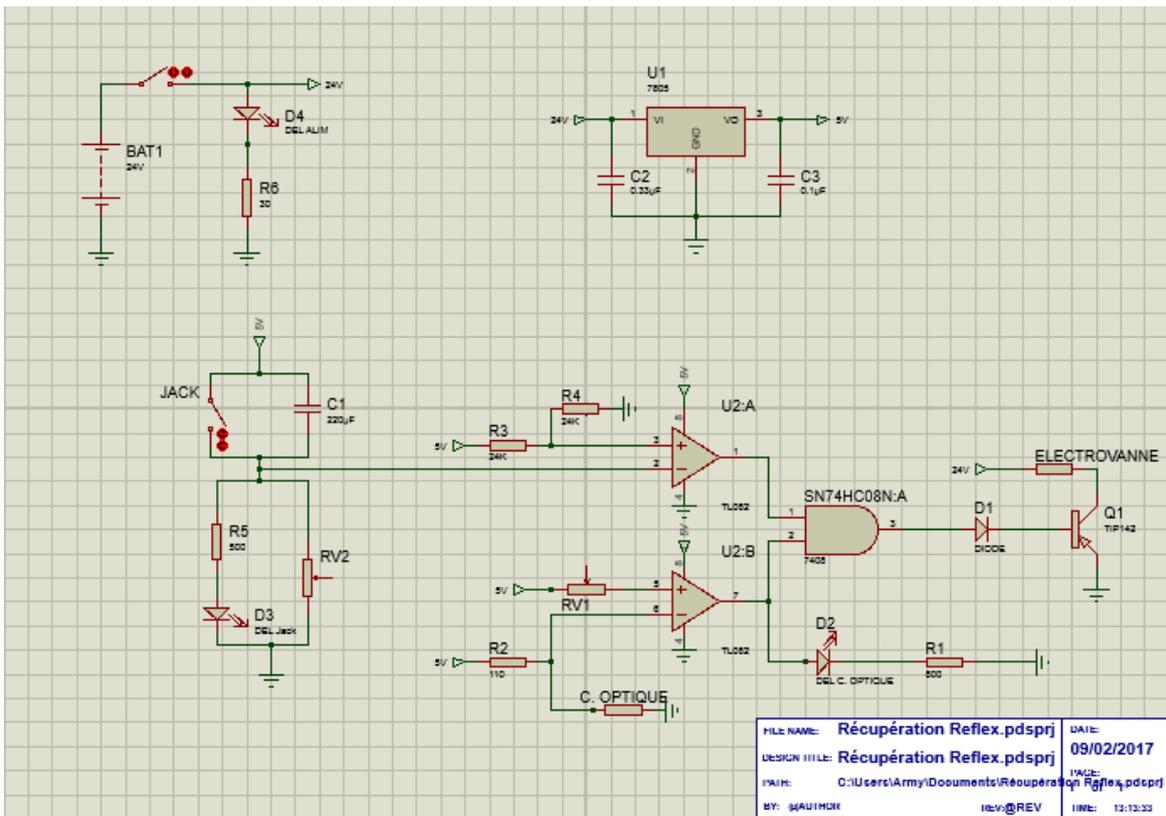


Figure 55 Récupération Reflex - Schéma



Figure 56 Récupération Reflex - Photo



➤ Carte de Mise à Feu :

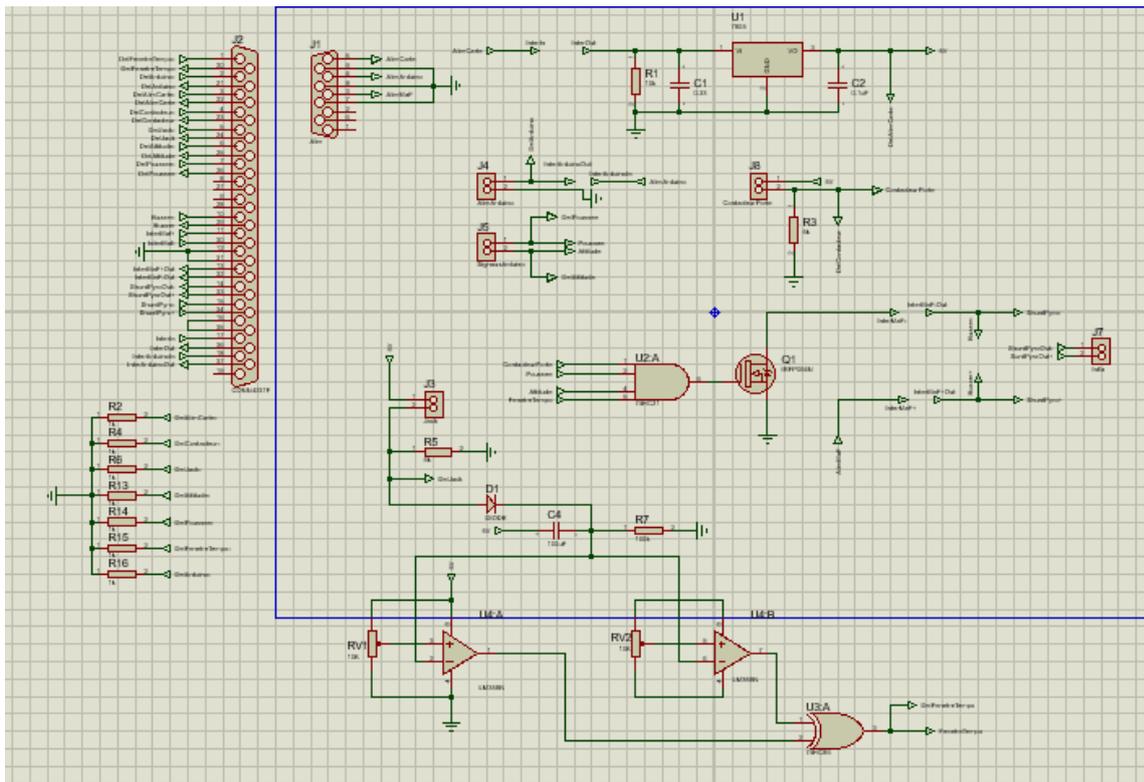


Figure 57 Mise à Feu – Schéma

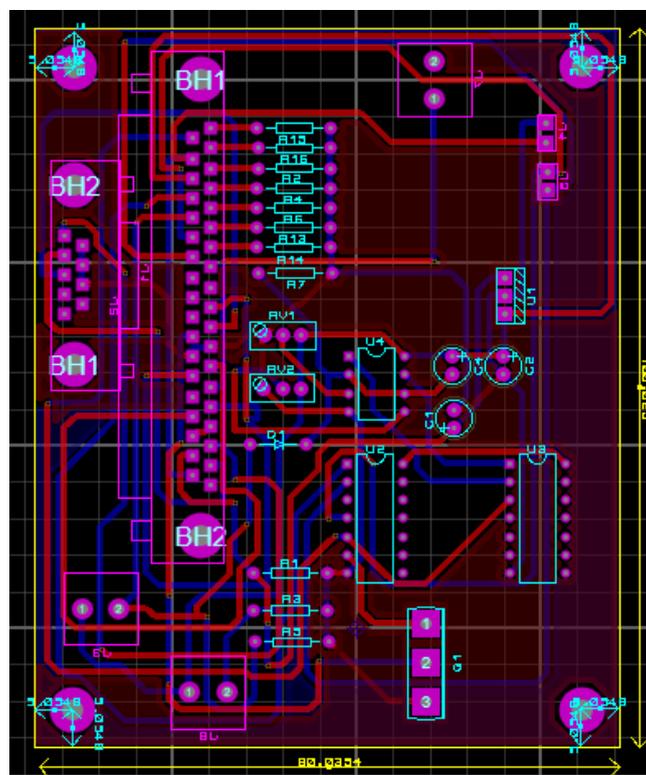
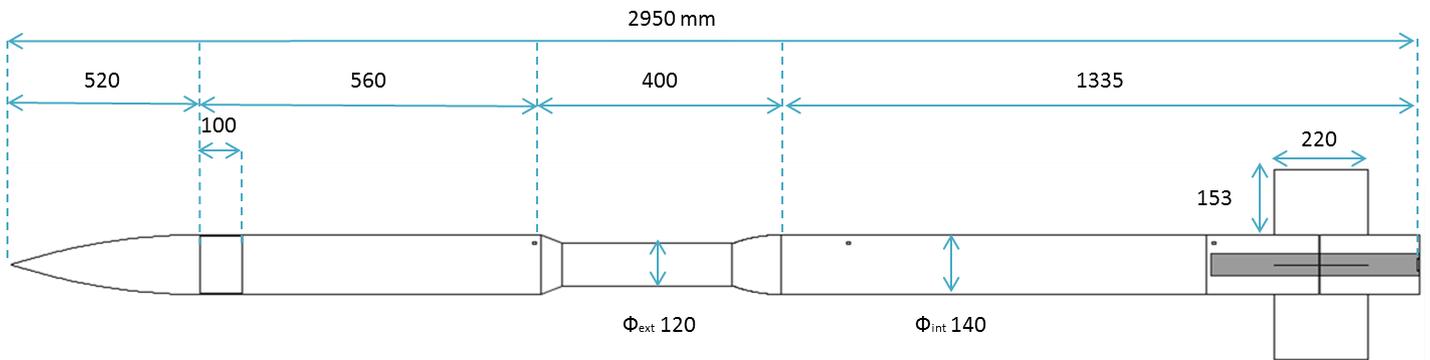


Figure 58 Mise à Feu - Routage

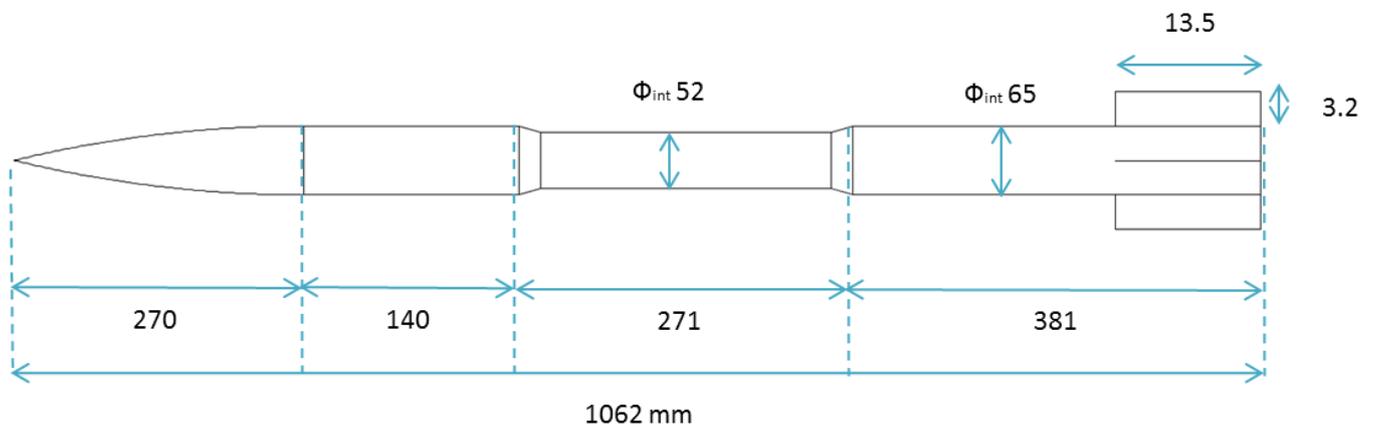


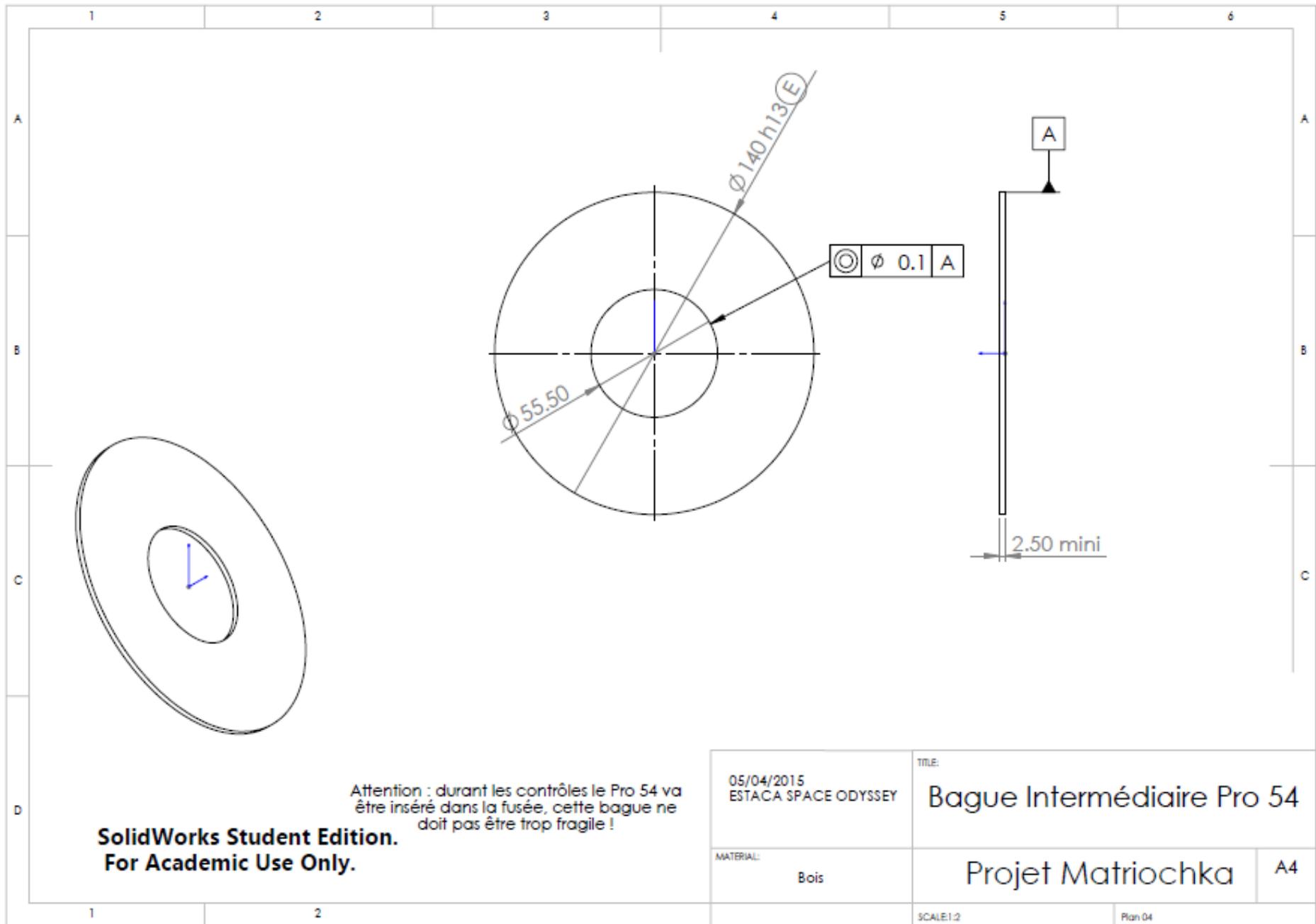
Annexe 2 : Plans mécaniques

Dimensions générales du lanceur STIMULUS :



Dimensions générales de la minifusée REFLEX :



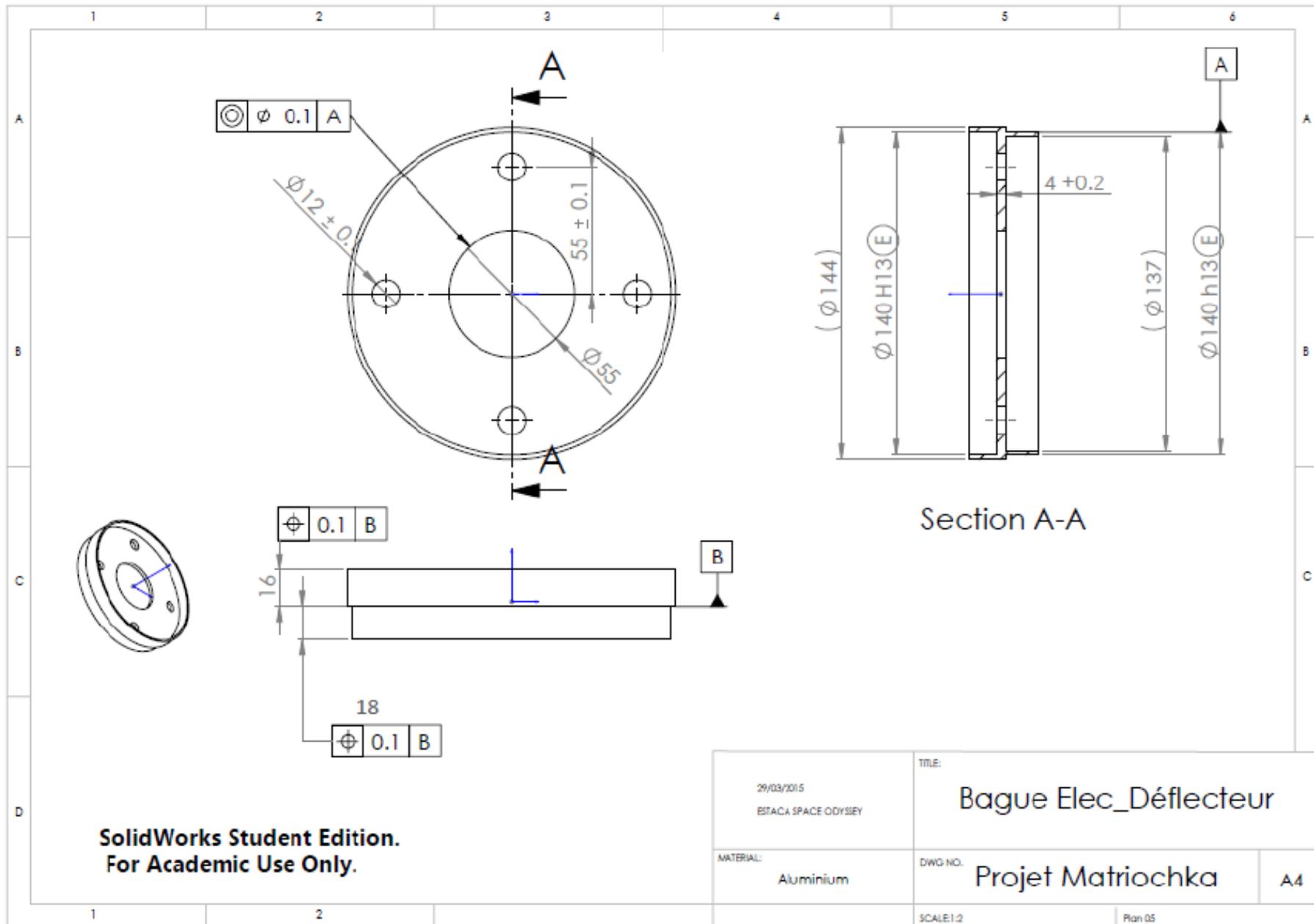


Attention : durant les contrôles le Pro 54 va être inséré dans la fusée, cette bague ne doit pas être trop fragile !

**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**

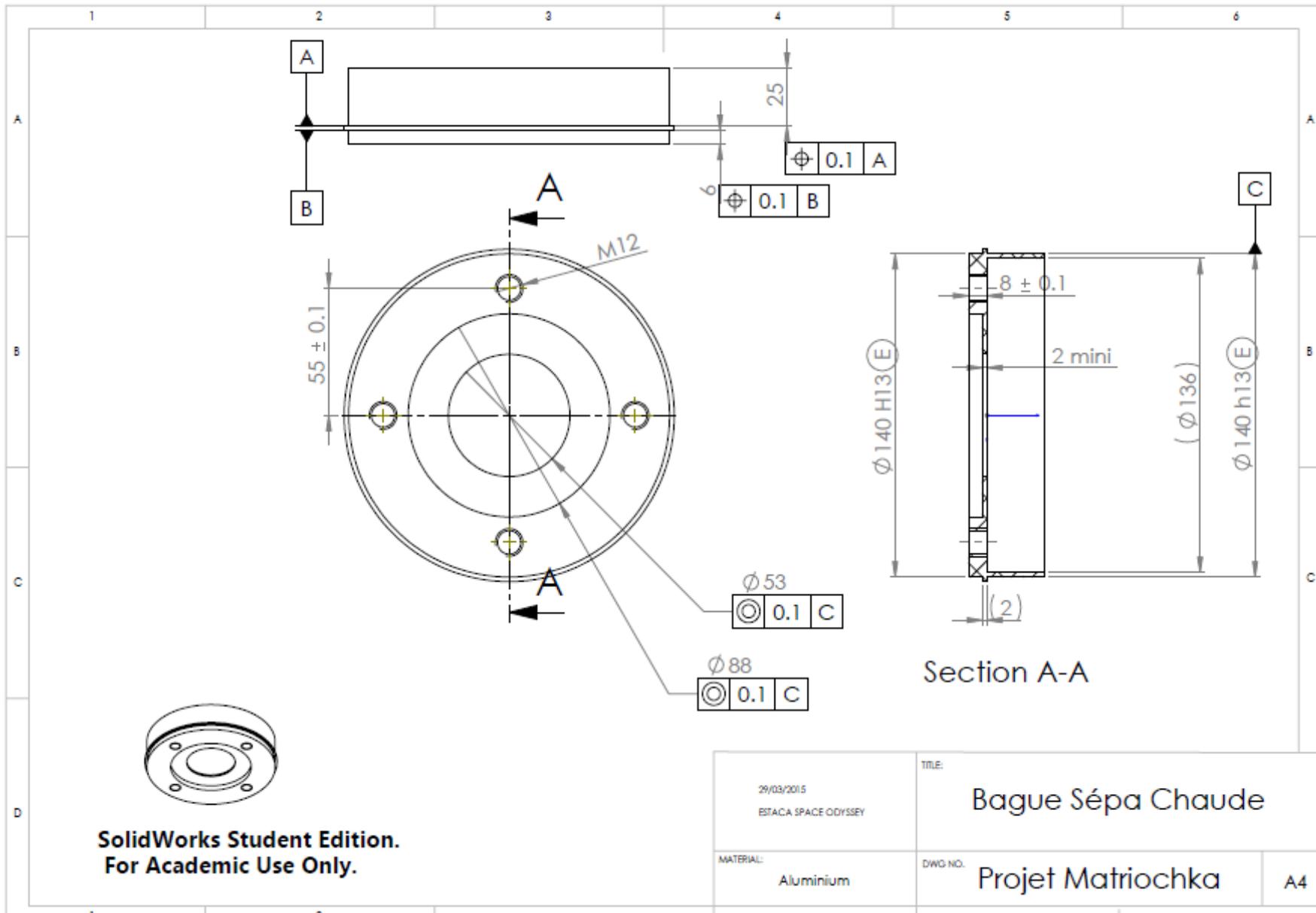
05/04/2015 ESTACA SPACE ODYSSEY		TITLE: Bague Intermédiaire Pro 54	
MATERIAL: Bois		Projet Matriochka	A4
SCALE:1:2		Plan 04	





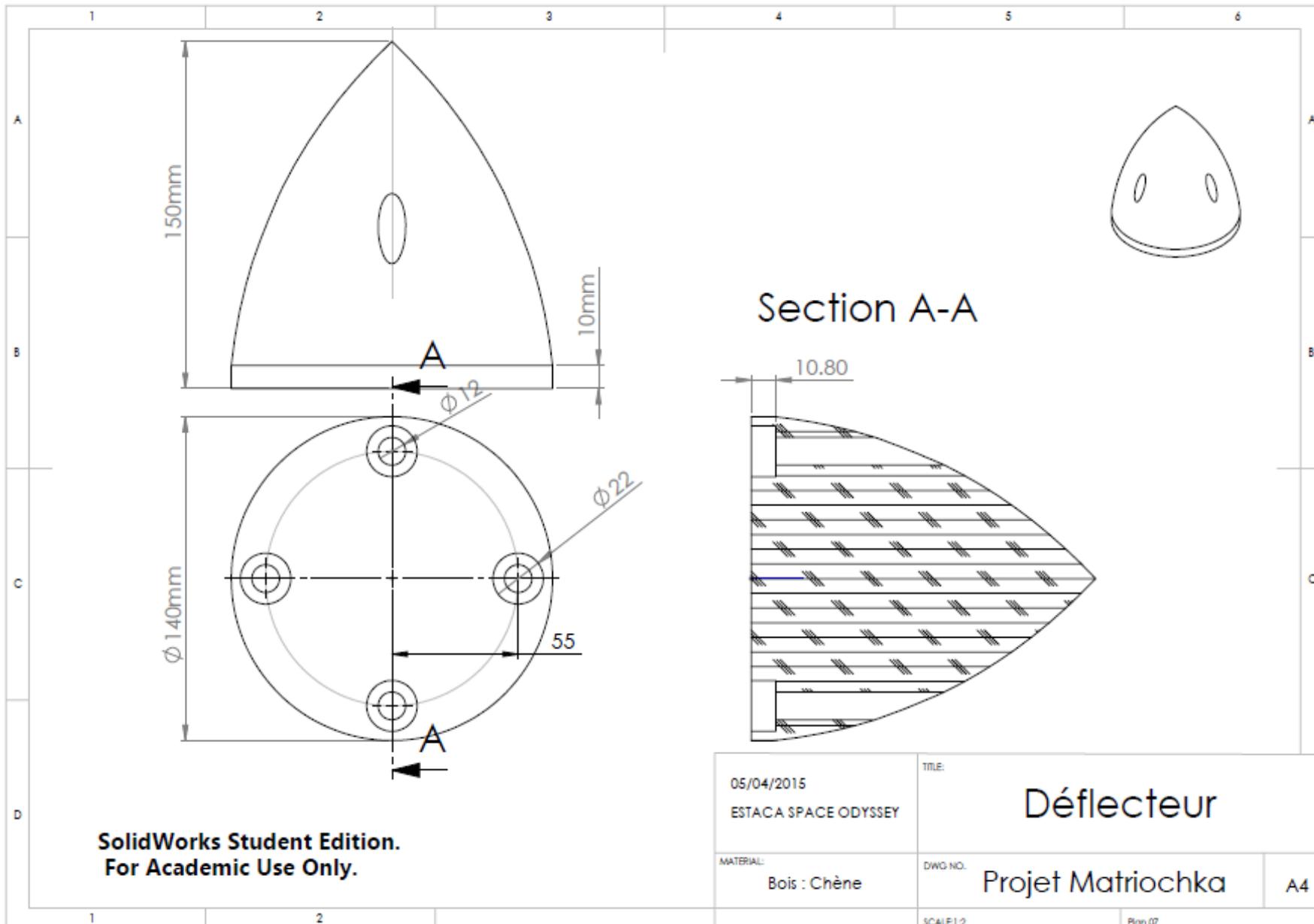
SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.



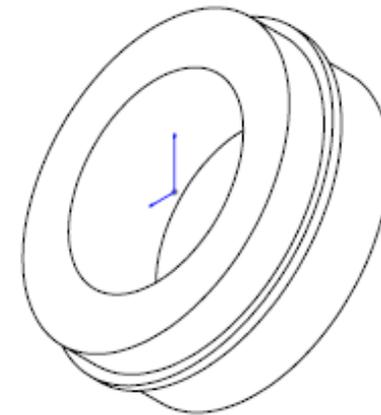
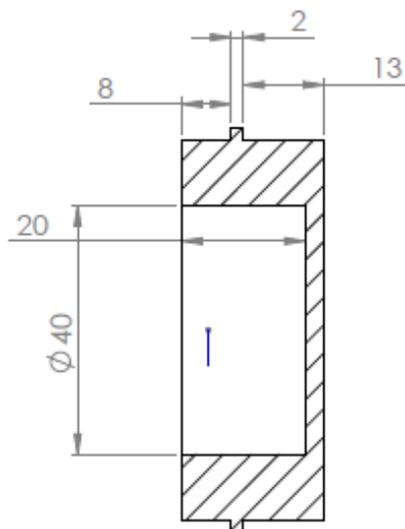
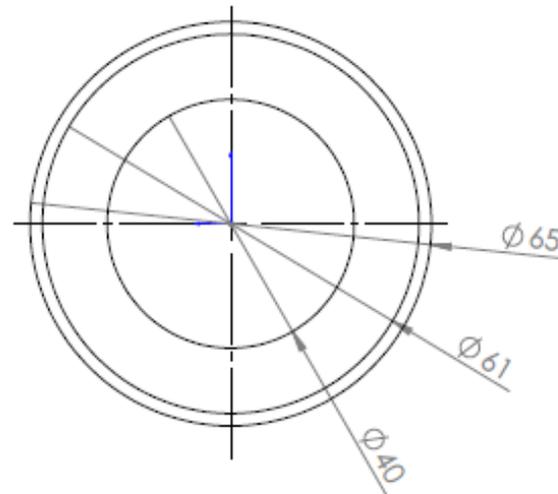
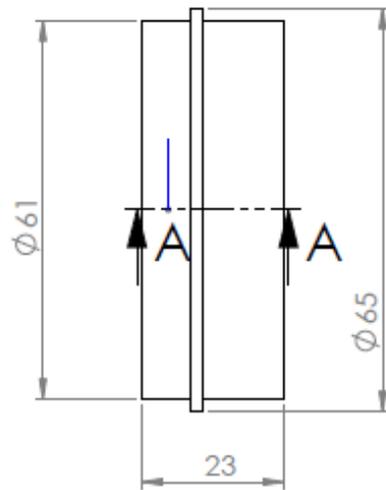


SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.





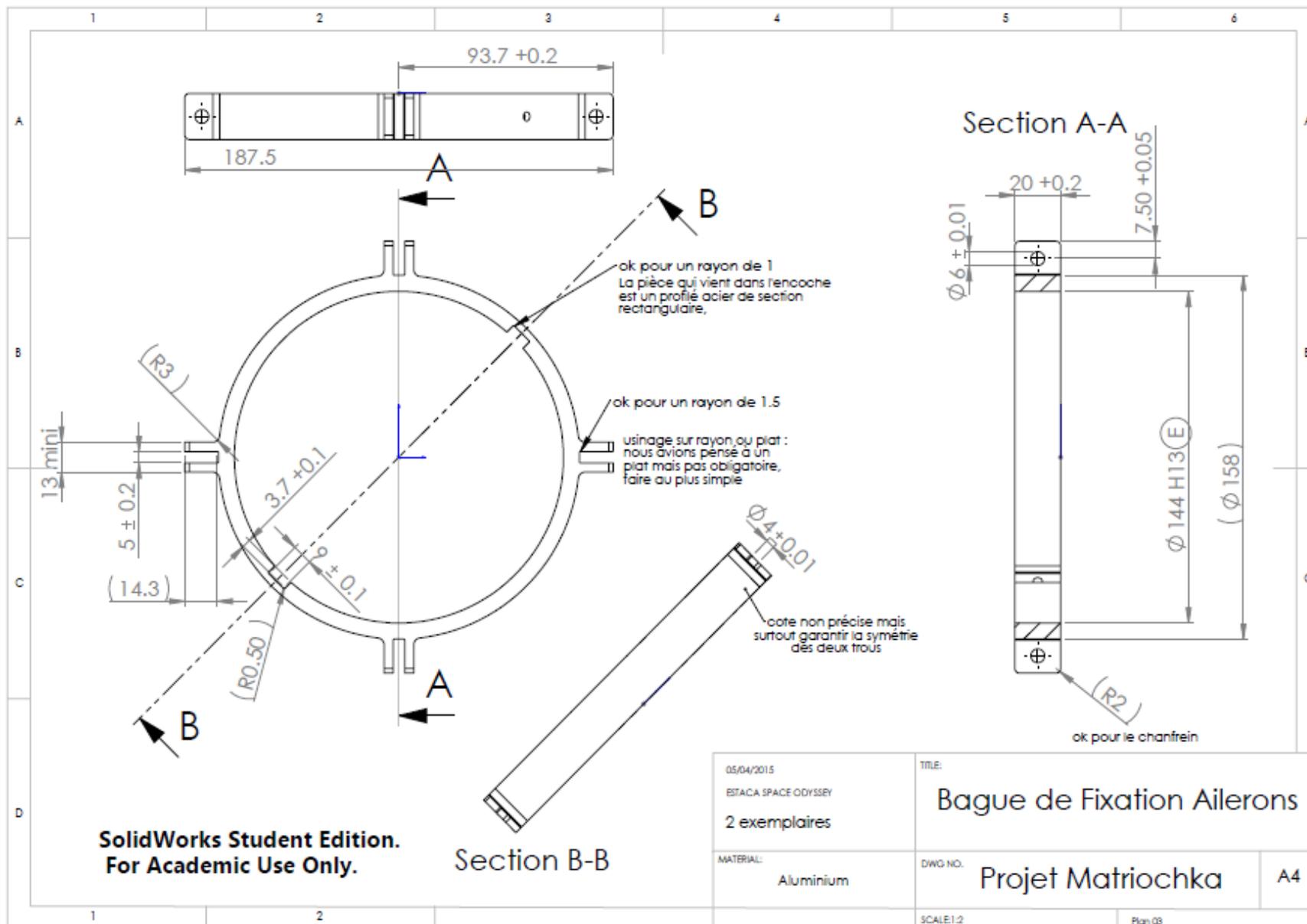
**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**

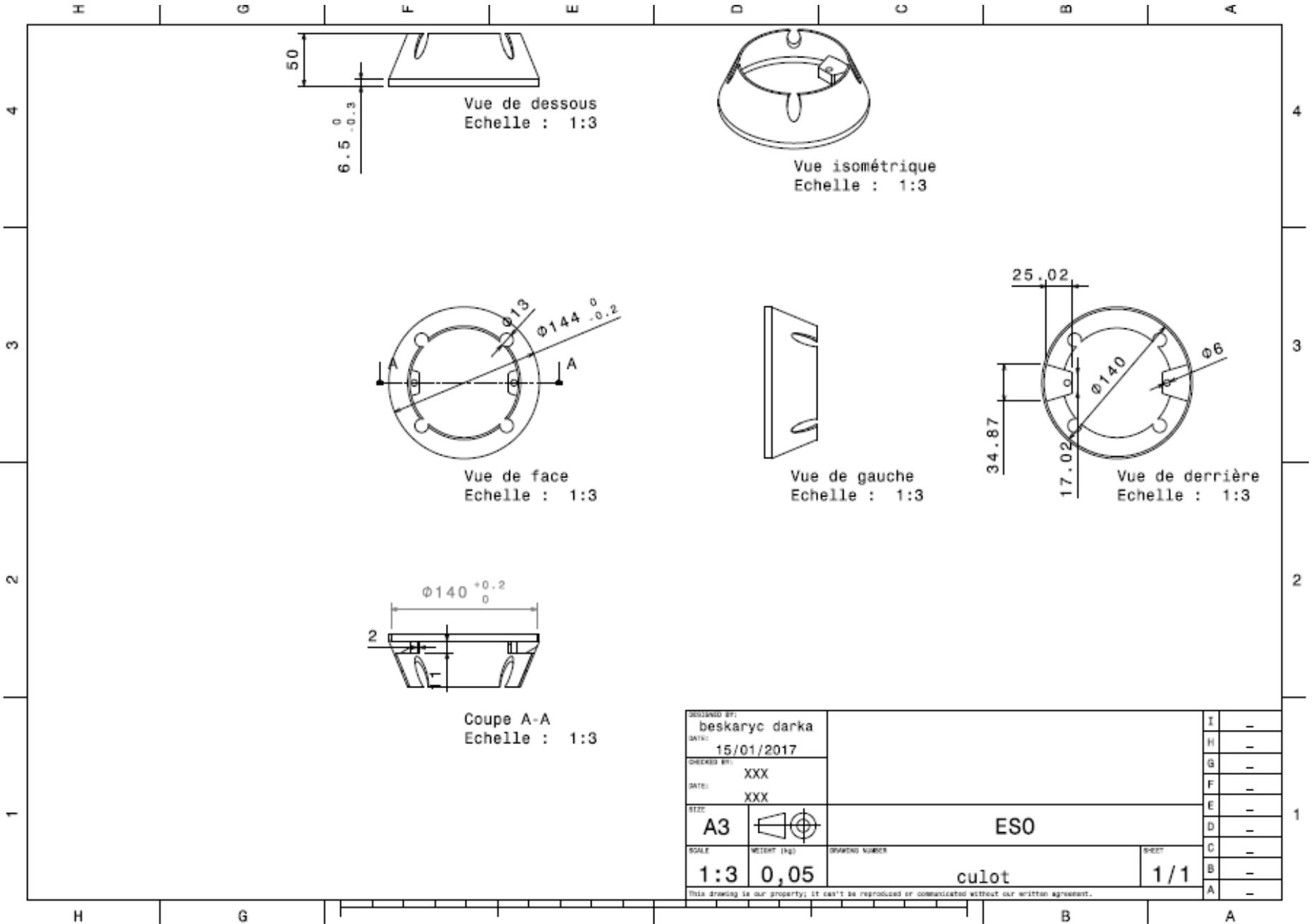


SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.

SECTION A-A

29/03/2015 ESTACA SPACE ODYSSEY		TITLE: Bague propu Reflex	
MATERIAL: Aluminium	A4	DWG NO. Projet Matriochka	A4
SHEET 1 OF 1		SCALE:1:1	Plan 10





50
6.5⁰_{-0.3}
Vue de dessous
Echelle : 1:3

Vue isométrique
Echelle : 1:3

Ø13
Ø144⁰_{-0.2}
A A
Vue de face
Echelle : 1:3

Vue de gauche
Echelle : 1:3

25.02
34.87
17.02
Ø140
Ø6
Vue de derrière
Echelle : 1:3

Ø140^{+0.2}₀
2
Coupe A-A
Echelle : 1:3

DESIGNED BY: beskaryc darka				I	-
DATE: 15/01/2017				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX				F	-
SIZE: A3		ESO		E	-
SCALE: 1:3	WEIGHT (kg): 0,05	DRAWING NUMBER: culot	SHEET: 1/1	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-

Annexe 3 : Détail des procédures de l'analyse par phase/zone :

Annexe 3.1. AMDEC par carte

Système/Sous système	Analyse des modes de défaillances par carte en cas de simple panne											
	CARTES	Fonction/État	Mode de défaillance	Causes possibles de la défaillance	Effets		Criticité			Moyen de détection	Actions correctrices	Remarques
Sous système					Système	G	O	D	Total			
Carte Récupération Lanceur	Assurer le déploiement du parachute du lanceur	Pas de fonction	Jack non arraché	Non éjection du parachute	Vol balistique du lanceur → Détérioration du lanceur	3	1	4	12	Vérification du bon arrachage du jack au sol	Faire en sorte que le jack ne puisse pas se bloquer et s'arrache facilement - Jack 6mm	Suite à un Retour d'exp du projet Miss Paramount, le jack choisi est de bonne qualité est le plus résistant possible pour ne pas casser à l'arrachage



		Carte non mise sous tension			3	1	1	3	DELS d'état	Rebrancher/ Recharger les batteries	Une mise sous tension des cartes peut être faite au préalable pour éviter de devoir retirer Matriochka de la rampe de lancement
		Mauvais réglage du temps de minuterie			3	1	1	3	Tests avant le vol	Régler le potentiomètre pour avoir le temps optimal pour sortir le parachute	Ne laisser qu'une seule personne modifier la valeur du potentiomètre pour toujours savoir où on en est
		Carte non fonctionnelle			3	1	1	3	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte simple, maîtrisée	Carte analogique
	Perte de fonction	Faux contact			3	1	2	6	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours	Faire une carte très propre



							n			
		Déconnexion des batteries pendant le vol								
	Déclenchement intempestif	Mauvais réglage du temps de minuterie	Sortie du parachute avant le moment choisi	Pas d'éjection de la charge utile → Echec mission + non mise à feu Cariatou						
			Sortie du parachute au moment de la mise à feu de la charge utile	Perturbations à la sortie de la charge utile → potentielle propulsion vers le public						
	Mauvais arrachage du jack	Sortie tardive du parachute	Retombée sous parachute plus courte							



			Faux contact	Sortie du parachute avant le moment choisi	Pas d'éjection de la charge utile → Echech mission + non mise à feu Cariatou	4	1	2	8	Tests de la carte avant et après son intégration	Refaire la carte	Faire une carte très propre
Carte de mise à feu	Assurer l'allumage de l'inflamateur pour la séparation du second étage	Pas de fonction	Jack non arraché	Pas d'éjection de la charge utile	Non mise à feu Cariatou	4	1	4	16	Vérification du bon arrachage du jack au sol	Faire en sorte que le jack ne puisse pas se bloquer et s'arrache facilement	
			Carte non fonctionnelle			4	1	1	4	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours	
			Carte non mise sous tension			3	1	1	3	DELS d'état	Rebrancher/ Recharger les batteries	
			Faux contact			4	1	2	8	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours	



					4	1	4	16	/	Rajouter au moins un second accéléromètre de fonctionnement différent pour s'assurer de ne pas rater la valeur d'accélération recherchée	Solution rejetée suite à divers tests - utilisation ARDUINO - étalonnage - calibrage
					4	2	1	8	Tests avant le vol	Changer le programme	Choisir une seule personne pour mettre le programme sur l'Arduino pour être sûr que le programme soit le bon
	Déclenchement intempestif trop tôt (en rampe)	Carte élec non conforme	Éjection de la charge utile en rampe	Conditions pas encore réunies pour le lancement, possibilité de blesser quelqu'un	4	1	1	4	Tests avant le vol	Utiliser carte de secours	
		Programme présent sur l'Arduino			4	1	1	4	Tests avant le vol	Changer le programme	



	Déclenchement intempestif, trop tôt (en vol)	Programme présent sur l'Arduino	Éjection prématurée de la charge utile lors de la phase propulsée pro 54	Altitude atteinte par la charge utile et durée de vol plus courte. Possibilité de déstabilisation du lanceur. Détérioration de la performance de la mission	1	2	1	2	Tests avant le vol	Changer le programme	
		Mauvais calibrage de l'accéléromètre			1	2	4	8	Tests avant le vol	Faire un étalonnage précis et rigoureux	
		Défaut de l'accéléromètre			1	1	1	1	Tests avant le vol	Tester et bien calibrer la CI	
		Faux contact			1	1	2	2	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours	
	Déclenchement intempestif, trop tard	Programme présent sur l'Arduino	Éjection tardive de la charge utile, lors de la phase de descente du lanceur	La charge utile sera propulsée vers le sol, ce qui peut être dangereux pour le public	4	2	1	8	Tests avant le vol	Changer le programme	
		Mauvais calibrage de l'accéléromètre / Détection de la mauvais accélération			4	4	1	16	Tests avant le vol	Mettre fin au programme après un certain temps, au bout duquel on sait avec certitude qu'il sera trop tard pour éjecter	Fenetrage temporel
		Défaut de l'accéléromètre			4	1	1	4	Tests avant le vol		



			Faux contact			4	1	1	4	Tests de la carte avant et après son intégration	la charge utile (voir sur le stab traj)	
Carte Récupération Reflex	Assurer le déploiement du parachute de la charge utile	Pas de fonction	Non détection de la sortie du lanceur par le capteur optique	Non sortie du parachute	Vol balistique de la charge utile → Détérioration de la charge utile	2	2	4	16	/	Vérification de la sensibilité du capteur et choix par rapport à cette sensibilité. Utiliser au moins deux capteurs optiques	Faire des tests en introduisant la carte dans le lanceur et en vérifiant que le capteur capte uniquement de la lumière à la sortie. Tester avec différentes luminosités
			Jack non arraché			2	1	4	8	Vérification du bon arrachage du jack au sol	Faire en sorte que le jack ne puisse pas se bloquer et s'arrache facilement	



					2	1	1	2	Tests avant le vol	Utiliser carte de secours
					2	1	1	2	DEls d'état	Rebrancher/ Recharger les batteries
					2	2	1	4	Tests avant le vol	Changer le programme
	Perte de fonction	Déconnexion des batteries pendant le vol	Non sortie du parachute	Vol balistique de la charge utile → Détérioration de la charge utile	2	1	4	8	/	Ne pas laisser de fils pendre dans les tubes et utiliser des connecteurs fiables
		Faux contact			2	1	1	2	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours
	Déclenchement intempestif	Mauvais arrachage du jack	Sortie du parachute tardive	Retombée sous parachute plus courte	1	1	4	4	Vérification du bon arrachage du jack au sol	Faire en sorte que le jack ne puisse pas se bloquer et s'arrache facilement



			Mauvais réglage du temps de minuterie (après sortie du lanceur)	Sortie du parachute avant le moment choisi ou sortie tardive	Retombée sous parachute plus ou moins longue	1	1	1	1	Tests avant le vol	changer le programme	
			Détection de lumière par le capteur optique	Sortie du parachute à l'intérieur du lanceur	Déstabilisation du lanceur → Pas d'éjection de la charge utile et la charge utile avec parachute coincé dans le lanceur ou Déstabilisation la charge utile à mise à feu MAF avec risque d'être propulsé dans la mauvaise direction	4	1	4	16	/	Utiliser au moins deux capteurs optiques (voire 3 → vote majoritaire)	Rejeté, utilisation du capteur optique en redondance du Jack



Annexe 3.2. AMDEC par phases

Phases de vol	Analyse des modes de défaillances par phase et doubles pannes									
	Mode de défaillance	Causes possibles de la défaillance	Effets		Criticité				Moyen de détection	Actions correctrices
			Sous système	Système	G	O	D	Total		
Mise en rampe	Non allumage des DELs d'état	Carte(s) non alimentée(s)	Pas de fonctionnement des cartes	Boucle de vérification dans la chronologie	1	2	1	2	DELs d'état	Rebrancher/ Recharger les batteries
		DELs défaillantes	Aucun		1	2	1	2		Changer les DELS
		Carte(s) non fonctionnelle(s)	Pas de fonctionnement des cartes		1	2	1	2	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours
	Mise à feu prématurée	Programme sur l'arduino	Éjection de la la charge utile	Personnes présentes non prêtes au décollage → Risques pour les personnes présentes	4	1	1	4	Tests avant le vol	Changer le programme



		Arrachage Jack + Défaillance des capteurs Arduino			4	1	2	8	Tests avant le vol	Utiliser un jack de qualité + Etalonner de façon rigoureuse
	Sortie parachute de la charge utile	Arrachage Jack + Défaillance Capteur Optique	Sortie parachute de la charge utile à l'intérieur du lanceur	Ejection de la charge utile avec possibilité que le parachute reste coincé dans le lanceur ou Déstabilisation de la charge utile à la mise à feu avec risque d'être propulsé dans la mauvaise direction	4	1	2	8	Tests avant le vol	Utiliser un jack de qualité + Utiliser un capteur optique adapté et un masquage éprouvé
	Sortie parachute lanceur	Arrachage Jack	Sortie du parachute en rampe	Risque que le lanceur reste coincé en rampe ou trajectoire non prévisible : non-allumage du propulseur de la charge utile	4	1	1	4	Vue du parachute sorti ; del d'état lié à la connexion du jack	Allumer les interrupteurs le plus tard possible ; peinture ou flamme sur le jack pour le rendre plus visible

Décollage et phase propulsée Pro 54

	Mise à feu prématurée de la charge utile	Programme sur l'Arduino	Éjection de la charge utile	Ejection prématurée de la charge utile → Altitude atteinte plus faible et durée de vol plus courte	4	1	1	4	Tests avant le vol	Changer le programme
		Arrachage Jack + Défaillance Accéléro			4	1	2	8	Tests avant le vol	Utiliser un jack de qualité + Etalonner l'accéléro de façon rigoureuse
	Sortie parachute la charge utile	Arrachage Jack + Défaillance Capteur Optique	Sortie parachute de la charge utile à l'intérieur de lanceur	Ejection de la charge utile avec possibilité que le parachute reste coincé dans le lanceur ou Déstabilisation de la charge utile à la mise à feu avec risque d'être propulsé dans la mauvaise direction	4	1	2	8	Tests avant le vol	Utiliser un jack de qualité + Utiliser un capteur optique adapté
	Sortie parachute lanceur	Minuterie mal réglée	Sortie prématurée du parachute	Sortie du para avant éjection la charge utile → Pas d'éjection la charge utile, destruction potentielle de Matriochka	4	1	1	4	Tests avant le vol	Régler la minuterie



Ejection de la charge utile	Non sortie de la charge utile	Jack non arraché	Pas d'éjection de la charge utile	Non allumage du propulseur de la charge utile	4	1	4	16	Vérification du bon arrachage du jack au sol	Faire en sorte que le jack ne puisse pas se bloquer et s'arrache facilement
		Carte non fonctionnelle			4	1	1	4	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours
		Carte non mise sous tension			3	1	1	3	DELS d'état	Rebrancher/ Recharger les batteries
		Faux contact			4	1	2	8	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours
		Valeur d'accélération recherchée non trouvée			4	1	4	16	/	/



					4	2	1	8	Tests avant le vol	Changer le programme
	Sortie parachute lanceur	Minuterie mal réglée	Sortie prématurée du parachute	Sortie du para pendant éjection la charge utile → Instabilité de la sortie la charge utile potentiellement dans la mauvaise direction	4	1	1	4	Tests avant le vol	Régler la minuterie
	Sortie parachute charge utile	Programme présent sur l'Arduino	Sortie parachute prématurée	Possible collision de la charge utile et lanceur → détérioration du lanceur et/ou de la charge utile	3	1	1	3	Tests avant le vol	Changer le programme



Phase propulsée Cariacou	Sortie parachute charge utile	Programme présent sur l'Arduino	Sortie parachute prématurée	Vol de la charge utile écourté	1	1	1	1	Tests avant le vol	Changer le programme
	Non sortie du parachute	Jack non arraché	Non sortie du parachute	Vol balistique de lanceur → Détérioration du lanceur	3	1	4	12	Vérification du bon arrachage du jack au sol	Faire en sorte que le jack ne puisse pas se bloquer et s'arrache facilement



	Mauvais réglage du temps de minuterie			3	1	1	3	Tests avant le vol	Régler le potentiomètre pour avoir le temps optimal pour sortir le parachute
	Carte non fonctionnelle mais fonctionnement correct des DELs (~double panne)			3	1	1	3	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours
	Faux contact mais fonctionnement correct des DELs (~double panne)			3	1	2	6	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours



		Déconnexion des batteries pendant le vol			3	1	4	12	/	Ne pas laisser de fils pendre dans les tubes et utiliser des connecteurs fiables
	Mise à feu tardive de la charge utile	Arduino	Éjection de la charge utile lors de la descente de sous parachute (ou non) du lanceur	Possibilité de danger pour le public	4	2	2	16	Programme	Fenêtrage temporel distinct (sans chevauchement) du fenêtrage temporel de la récupération lanceur
Récupération la charge utile	Non sortie du parachute	Non détection de la sortie du lanceur par le capteur optique	Non sortie du parachute	Vol balistique de la charge utile → Détérioration de la charge utile	2	2	4	16	/	Vérification de la sensibilité du capteur et choix par rapport à cette sensibilité. Utiliser au moins deux capteurs optiques
		Jack non arraché			2	1	4	8	Vérification du bon arrachage du jack au sol	Faire en sorte que le jack ne puisse pas se bloquer et s'arrache facilement



	Carte non fonctionnelle mais fonctionnement correct des DELs (~double panne)			2	1	1	2	Tests avant le vol	Utiliser carte de secours
	Programme présent sur le PIC			2	2	1	4	Tests avant le vol	Changer le programme
	Déconnexion des batteries pendant le vol	Non sortie du parachute	Vol balistique de la charge utile → Détérioration de la charge utile	2	2	4	16	/	Ne pas laisser de fils pendre dans les tubes et utiliser des connecteurs fiables
	Faux contact mais fonctionnement correct des DELs (~double panne)			2	1	1	2	Tests de la carte avant et après son intégration	Utiliser carte de secours



Annexe 3.3. Doubles pannes

		Mise en rampe			Phase propulsée pro 54			Ejection Reflex			Phase propulsée Cariacou	Récupération lanceur	Récupération Reflex
		MAF Reflex	Sortie para Stimulus	Sortie para Reflex	MAF Reflex	Sortie para Stimulus	Sortie para Reflex	Non MAF Reflex	Sortie para Stimulus	Sortie para Reflex	Sortie para Reflex	Non sortie para Stimulus	Non sortie para Reflex
Mise en rampe	MAF Reflex		Double panne indépendante	Vol perturbé de Reflex avec possibilité de départ dans le mauvais sens		PAS DE MAF LANCEUR	PAS DE MAF LANCEUR		PAS DE MAF LANCEUR	Reflex coincée dans Stimulus avec propu allumé	Vol de Reflex écourté	Fonctionnement Nominal	Vol balistique de Reflex
	Sortie para Stimulus	Vol perturbé du lanceur avec possibilité de départ dans le mauv		Double panne indépendante	Vol perturbé de Reflex avec possibilité de départ dans le mauv			Fonctionnement nominal			PAS DE MAF REFLEX		Fonctionnement nominal



		ais sens			ais sens								
	Sortie para Reflex	Reflex coincé dans Stimulus avec propu allumé			Vol perturbé de Reflex avec possibilité de départ dans le mauvais sens								
Phase propulsée pro 54	MAF Reflex				Vol perturbé de Reflex avec possibilité de départ dans le mauvais sens	Vol perturbé de Reflex avec possibilité de départ dans le mauvais sens		Vol perturbé de Reflex avec possibilité de départ dans le mauvais sens	Vol perturbé de Reflex avec possibilité de départ dans le mauvais sens	Vol de Reflex écourté	Double panne indépendante	Vol balistique de Reflex	



	Sortie para Stimulus						Double panne indépendante	Fonctionnement nominal		Double panne indépendante			Fonctionnement nominal
	Sortie para Reflex						Double panne indépendante	Double panne indépendante	Double panne indépendante			Double panne indépendante	
Larga ge Reflex	Non MAF Reflex								Double panne indépendante	Double panne indépendante	Double panne indépendante	Double panne indépendante	fct normal
	Sortie para Stimulus							Fonctionnement normal		Double panne indépendante	Double panne indépendante		Double panne indépendante
	Sortie para Reflex											Double panne indépendante	



Phase propulsée Cariatou	Sortie para Reflex											Double panne indépendante	
Récup lanceur	Non sortie para Stimulus												Double panne indépendante
Récup Reflex	Non sortie para Reflex												



Annexe 4 : Stab / Traj



TRAJECTO

Trajctographie de fusée

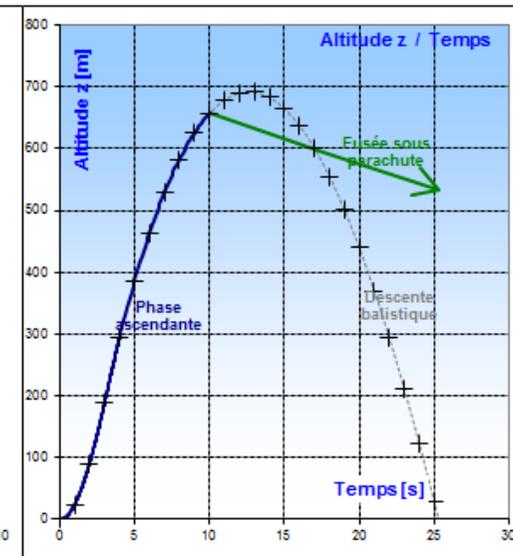
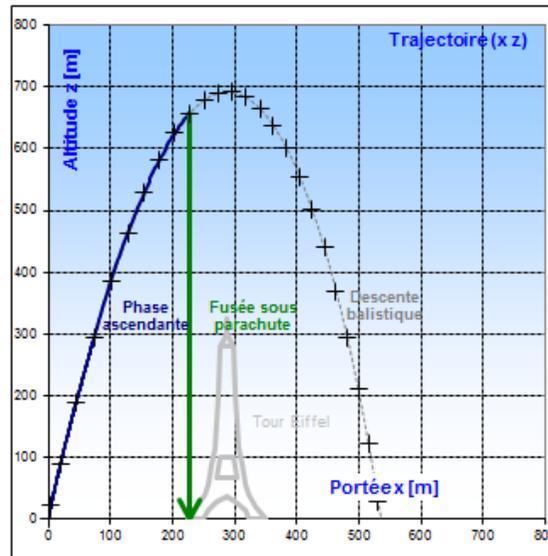
Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	Lanceur Matriochka
Club	ESO
Masse totale	13.685 kg
Propulseur	Barasinga (Pro54-5G)

Trainée Aérodynamique	
Surface Réf.	0.018806 m ²
Cx	0.6

Rampe de Lancement	
Longueur	5 m
Élévation	80 °
Altitude	0 m

Descente Sous Parachute		
	Fusée	0 satellite
Masse	12.652 kg	
Ouverture para	10 s	
Surface para	3.14 m ²	
Cx parachute	1	
Vitesse du vent	5 m/s	
Vitesse descente	8.0 m/s	
Durée descente	82 s	



28/12/2014	Temps	Altitude z	Portée x	Vitesse	Accélération
Sortie de Rampe				22.3 m/s	
Vit max & Acc max				113 m/s	56 m/s ²
Culmination, Apogée	12.6 s	692 m	287 m	23 m/s	
Ouverture parachute fusée	10.0 s	657 m	227 m	35 m/s	
Impact balistique	25.3 s		536 m		

Pour localiser la fusée

Calcul de la surface d'un parachute

Longueur du bord	269 mm
Largeur du côté	2850 mm
Surface para	3.14 m ²

Résultats détaillés	Temps s	Altitude z m	Portée x m	Vitesse m/s	Accélération m/s ²	Angle °
Décollage	0	0	0	0	-	80
Sortie de Rampe	0.45	4.72	0.83	22.3	50.1	80.0
Vit max & Acc max	-	-	-	113	55.6	-
Fin de Propulsion	3.6	253	62	110	16.1	74.4
Culmination, Apogée	12.6	692	287	23	9.8	1.1
Impact balistique	25.3	~0	536	99	4.7	-81.2
Ouverture parachute fusée	10.0	657	227	35	10.3	48.5
Impact fusée sous para.	92	~0	-182 636	8	9.8	-

Annexe 5 : Etude Thermique (Janvier 2015)

Environnement en sortie de tuyère du Cariatou

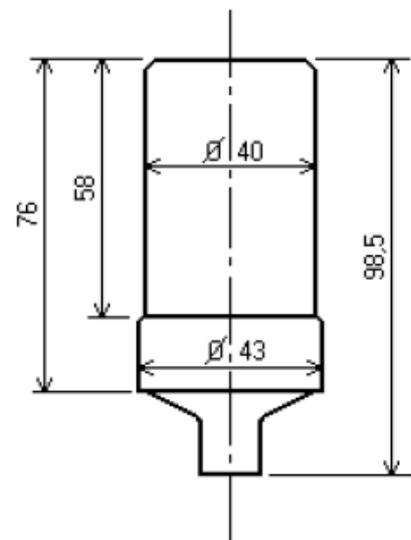
A.1. Caractéristiques du moteur

Le cariacou est le moteur destiné aux minifusées qui volent lors de la campagne nationale de lancement depuis 2007. Produit par l'entreprise *Lacroix*, ces moteurs de classe G seront remplacés en 2016 par la nouvelle génération des Pro X de la société *Cesaroni*. Ces moteurs sont mis en œuvre au sol par des pyrotechniciens formés par Planète Sciences ou le CNES. A ce titre, ces moteurs ont fait l'objet d'une étude de sécurité avant leur mise en service, leur comportement est par conséquent maîtrisé par tous les personnels encadrant l'activité.

Géométrie du moteur : (les données sont en millimètres)

Les données géométriques étant basées sur des moyennes, l'étage propulseur de notre charge utile « Reflex » est conçu avec marge. Seul les contrôles effectués lors d'une RCE (rencontre de suivi des clubs) et lors de la campagne nationale de lancement permettront de qualifier la compatibilité propulseur / fusée. Ces exigences pour plusieurs raisons :

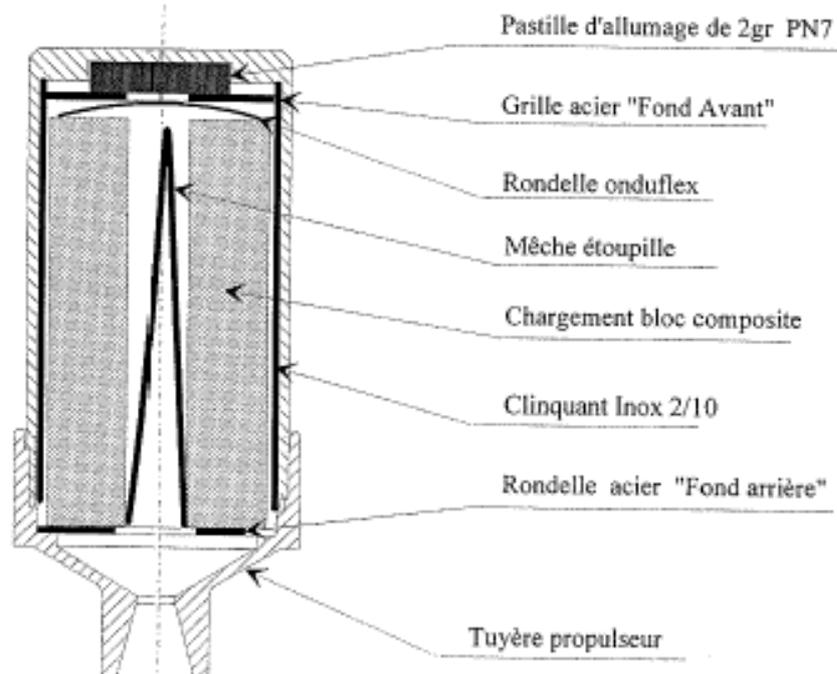
- Un ajustement trop serré entraînerait une insertion en force du propulseur, ce qui est impensable. N'oublions pas que nous sommes en face d'une charge explosive... la manipulation du propulseur est donc soumise à réglementation et surtout aux précautions « sauvegarde ».
- Au contraire, avec un ajustement trop large, le propulseur risquerait de tomber lors du décollage ... cas indésirable ! En effet, nous serions dans le cas d'une charge explosive suivant une trajectoire non contrôlée.



A.2. Composition chimique

Le cariacou est un moteur à ergol solide, composé de 80g de matière active dont 2g de poudre noire. Le propergol utilisé est du perchlorate d'ammonium **NH₄ClO₄/Al / liant PBHT**, un propergol composite. Ce type de propergol est constitué d'un polymère combustible appelé liant (ici le [polybutadiène hydroxytéléchélique](#) dit PBHT), d'un oxydant solide et d'un métal jouant le rôle de combustible avec le liant (l'aluminium).

L'inflamateur permet l'allumage de la pastille composée de poudre noire. Elle déclenche ainsi la réaction entre les composants du propergol qui dure 0.95s.



A.3. Données en sortie de tuyère

Le perchlorate d'aluminium est très utilisé dans l'industrie en raison de son taux élevé en oxygène (plus de 54%). Sa production est actuellement de 18 000t/an (en 2004) contre seulement 1800t/an en 1940 ! Cette augmentation est due essentiellement aux demandes militaires dans les technologies missiles mais également civiles à travers les lanceurs. Pour exemple, la société Héraclès qui réalise plus de 3000t de perchlorate d'ammonium par an. Il est également utilisé dans les dispositifs pyrotechniques, les fumées (domaine militaire), les airbags ou encore dans les composants d'adhésifs. Ces informations nous confirment ainsi que le propergol de ce moteur « loisirs » est de même constitution que ceux des boosters d'Ariane 5 !

Le perchlorate d'ammonium n'existe pas à l'état naturel, il doit être synthétisé à partir de perchlorate de sodium et de chlorure d'ammonium par exemple. D'autres utilisations, plus « pures » nécessitent cependant des procédés plus spécifiques comme la réaction de l'ammoniac (NH_3) avec de l'acide perchlorique (HClO_4). C'est ainsi qu'est aujourd'hui synthétisé le propergol du *Cariacou*.

Le propergol est constitué de trois composants principaux :

- Une charge oxydante = Perchlorate d'ammonium NH_4ClO_4
- Une poudre combustible métallique = Aluminium Al
- Un liant polymérique qui assure les propriétés mécaniques du bloc de poudre = Polybutadiène hydroxytélchélique PBHT

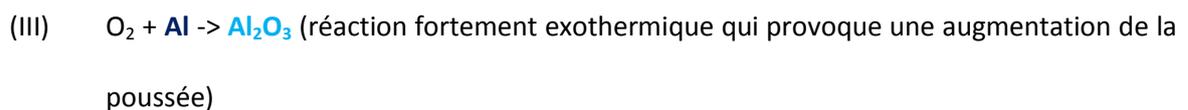
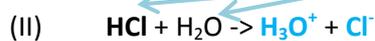
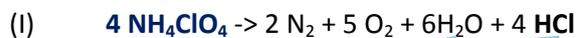
(+ Le réticulant, aidant à la formation des liaisons chimiques entre les chaînes de polymère pour produire une structure en réseau).

Exemple de proportions de mélange : pour les boosters Ariane 5, on compte 65% de perchlorate d'ammonium, 18% d'aluminium et 14% de PBHT.

Mais entre la synthèse de ces composants et le bloc de poudre, quelles sont les étapes ?

Tout d'abord, l'étape du malaxage, le mélange possède alors la consistance d'une pâte. Puis, le coulage sous vide dans la structure du propulseur préalablement enduit de liner (un isolant). Le processus de polymérisation suit. On procède alors au démoulage du chargement, au contrôle non destructif par rayon X du produit et enfin à l'assemblage.

Le propergol ainsi introduit dans le Cariatou, nous pouvons désormais présenter la réaction chimique : la combustion.



Composants du propergol

Produits finaux de la réaction

Les produits issus de la combustion du perchlorate d'ammonium, de l'aluminium et du PBHT sont donc :

- De l'acide chlorhydrique $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$;
- De l'alumine (ou oxyde d'aluminium) Al_2O_3 ;
- du dioxyde de carbone ;
- de l'eau ;
- du diazote ;
- et des vapeurs chlorées.

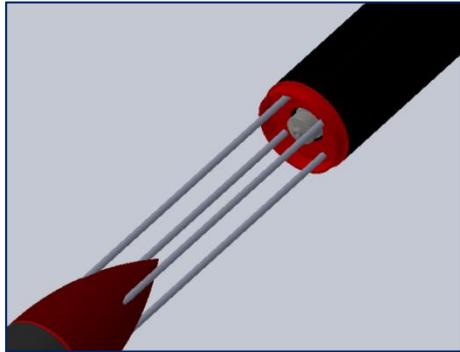
Présentation des architectures « séparation chaude »

L'utilisation de la « séparation chaude » permet de réduire le nombre de fonctions du composite. En effet, comme précisé dans l'APR (octobre 2014), un nombre de fonctions réduit est préférable puisque synonyme de cas de panne moindre. Ce système présente ainsi un fort intérêt pour ce projet.

B.1. Configuration « treillis »

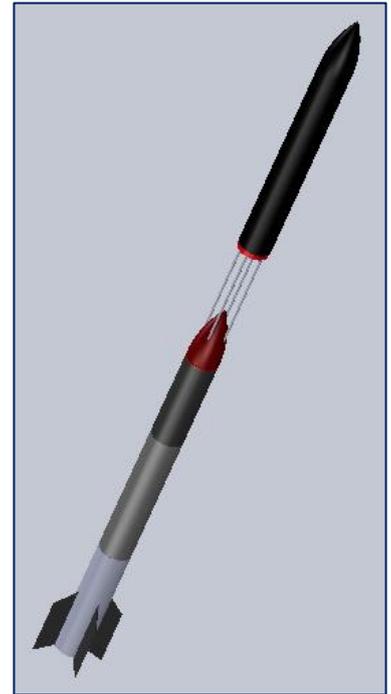


Une fois le cariacou allumé, la flamme se répandra entre les treillis, la pression et les gaz pouvant s'échapper entre ces derniers. La longueur des treillis devra être dimensionnée en fonction de la longueur de la flamme. L'élément inférieur, de forme conique permettra de guider les gaz hors du périmètre lanceur. Cette pièce ainsi que les treillis seront dans un



matériau qui résiste aux 3000K de la flamme et à la toxicité des gaz d'échappement du Cariacou. L'intérieur de la pièce conique pourra également être recouvert de protection thermique ! En effet, la case électronique se trouvant en dessous, elle devra être protégée pour ne pas dépasser les 70°C (température

max pour les composants électroniques). On tolèrera ainsi une maintenance sur les treillis et la pièce conique ainsi que sur les protections thermiques entre chaque vol.



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Echappement des gaz - Equilibre des pressions (entre P_{atm} et P_s) - Accessibilité pyrotechnicien - Commande de l'inflamateur dans un des treillis - Déjà testé sur minifusée (Minotaure) 	<ul style="list-style-type: none"> - Attention à la flèche ! - Cx ! - Matériaux des treillis devant tenir à 3000K et aux rejets toxiques

RETEX : Minifusée « Icare » et Fusex « Minotaure »

L'intérêt de l'architecture « treillis » vient de son expérience. En effet, le club ESO a réalisé en 2007 et 2009, deux premières ! La première minifusée tractée et la première fusée expérimentale tractée ! Nous pouvons rapidement comprendre le rapprochement entre ces deux projets et notre configuration de séparation chaude. Le lien : un propulseur en amont d'une structure. Le projet Minotaure, réalisé en 2007 nous permet d'avoir accès à une étude en sortie de Pro 54 et Icare, en sortie de Cariacou. Cette dernière est le meilleur test que nous pouvions espérer pour comprendre les phénomènes en sortie de tuyère et surtout quelles sont les conséquences sur le lanceur.



➤ Icare (vol torche en 2007)

Visuellement, nous pouvons constater des dommages structurels :

- Torsion des treillis porteurs
- Aspect noirâtre du corps inférieur
- Déflecteur noirci

Les dommages subis par les treillis ont été causés par le déroulement du vol, en effet, Icare a fini en torche. Ce terme signifie que le parachute est sorti de sa case mais son déploiement n'a pas été nominal. Les causes de cette fin de vol ne sont pas connues à l'heure actuelle mais il y a très peu de chance que cela soit dû à la traction de la fusée. Les treillis sont en acier d'après leur masse et on ne peut remarquer que la noirceur de ces derniers. Leur tenue est cependant encore intacte lors de nos manipulations. La seconde pièce en contact avec la flamme est le déflecteur, ce dernier est en aluminium et on ne peut que constater la couleur noir de ce dernier. Ceci indiquerait donc que de



l'aluminium peut résister à de telles contraintes thermiques. Point supplémentaire, l'électronique, qui se trouvait juste en dessous du déflecteur est en bon état, la carte cuivre a légèrement noirci mais les composants sont intacts. Leur fonctionnalité serait à tester mais le projet datant d'il y a 5 ans, le temps et les conditions de stockage ont dû la dégrader et la remettre en état pour des tests

prendrait un certain temps. Notons qu'après chaque vol, l'électronique ne fonctionne pas systématiquement, ceci est notamment dû au choc lors de l'impact au sol. Et comme nous sommes dans un cas de torche ici, les composants en ont certainement souffert. Dernier point visuel, la couleur de la fusée !



Si l'ogive indique clairement que Icare était peinte en orange, la couleur du corps, devenue marron de manière très hétérogène montre que les gaz issus du moteur ont sévèrement attaqué la peinture mais le composite reste intacte lors de nos manipulations, pas de traces de fontes de résine ou de délaminage.

Mesures effectuées :

H déflecteur = 7cm

H treillis = 40cm (4 treillis)

Recommandations pour Matriochka :

1/ Utiliser une longueur de treillis supérieure à 40cm

2/ Utiliser un déflecteur de minimum 7cm de haut

3/ Trouver des matériaux plus résistants à la chaleur que le couple aluminium / acier

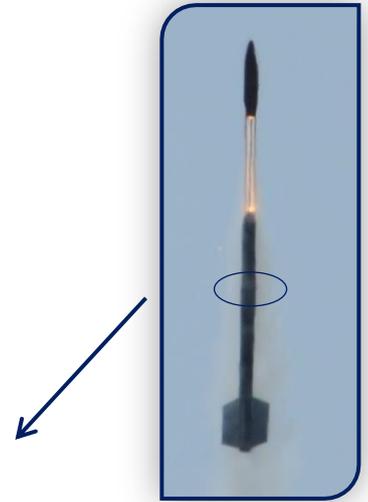
Cependant, *Matriochka* étant en diamètre 140mm, la flamme du cariacou n'atteindra jamais les parois « treillis » contrairement à Icare qui était de diamètre 65mm.

4/ Recouvrir les tubes inférieurs d'une protection externe pour éviter de dégrader l'aspect extérieur du lanceur et surtout d'endommager le composite

5/ Tapisser de protections thermiques l'intérieur de l'étage inférieur (situé en dessous du déflecteur)

➤ **Minotaure (vol nominal en 2009)**

La configuration de cette fusée expérimentale a été inspirée par Icare, nous retrouvons l'architecture en treillis avec ogive au sommet et déflecteur en dessous. Dans ce cas, les 3 treillis semblent être en titane. Le déflecteur est quant à lui en brique réfractaire ! Voici l'état du déflecteur après le vol : on constate que le déflecteur s'est décollé de sa bague inférieure (fonte de la colle due aux hautes températures). La pièce a été vigoureusement attaquée par l'environnement en aval du moteur mais elle conserve cependant sa tenue.



On remarque également une pastille sur cette bague désormais apparente. Il s'agit certainement d'un témoin pour estimer la température. Des pastilles similaires ont d'ailleurs été trouvées sur Icare. L'état de la structure du lanceur est cependant plus dégradé que celui de la minifusée. On observe ici un tube en composite avec les fibres apparentes, la résine a dû fondre. Et nous pouvons également remarquer la brûlure voir la fonte d'un autocollant, prouvant ainsi que l'état de surface et la matière sont des éléments à prendre en compte !



Les recommandations émises précédemment sont ainsi confirmées. Nous pourrions utiliser l'étude de *Minotaure* bien qu'elle ait fonctionné avec un pro 54 et non avec un cariacou. En effet, si une structure a résisté à l'allumage d'un Barasinga, elle résistera à un moteur de minifusée !



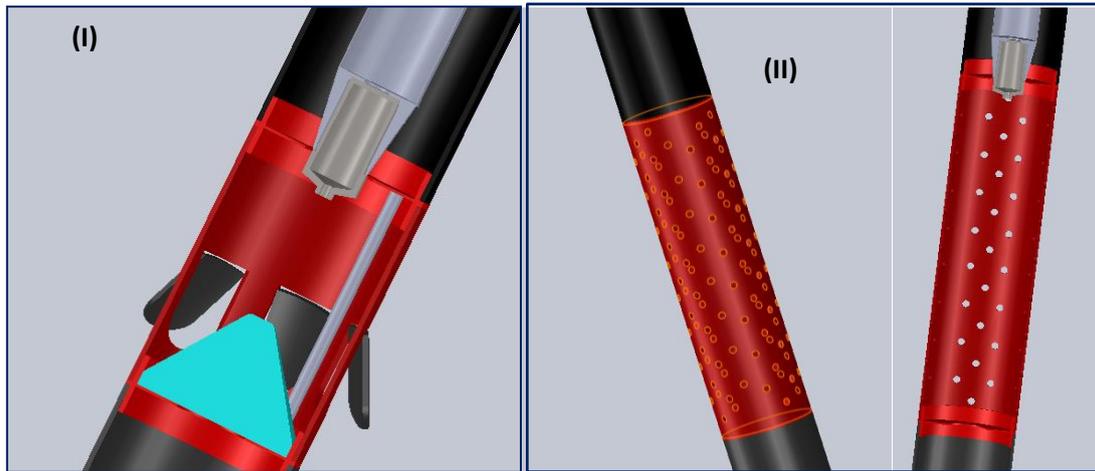
Ces deux cas nous prouvent donc que l'architecture « treillis » est pleinement viable puisqu'elle a été testée deux fois dont une avec mission nominale ! De plus, elle est également viable en termes de flèche et de stabilité ! (nos deux principaux inconvénients évoqués)

B.2. Configuration « fermée »

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Flèche ok - Stabilité ok - Cx ok 	<ul style="list-style-type: none"> - Innovation donc nécessité de tests - Pas d'accessibilité pyro ... - Risque de retour de jets

La géométrie (I) consiste à guider le flux hors du lanceur. Ces événements sont fermés lors du décollage et ne seront ouverts que sous la pression due aux gaz d'échappement du Cariacou. La pièce centrale, en forme de cône permet le guidage. Son matériau devra résister aux 3000K et aux rejets toxiques ! Il est envisageable que ce matériau agisse comme une protection ablative, la pièce sera donc changée entre deux vols. Ce système n'empêche pas de recouvrir de PT l'étage du dessous pour isoler.

L'architecture (II) quant à elle permettrait de conserver une peau porteuse, les gaz d'échappement partiraient par les trous.



Ces architectures permettent de retrouver les performances C_x , en stabilité et pour la flèche, test mécanique fondamental. En effet, de nombreux projets se voient refusés pour problème de flèche statique ou dynamique. L'accessibilité au propulseur est par contre détériorée.

Les trois systèmes précédents présentent chacun des avantages majeurs soit pour résister à l'environnement très contraignant en sortie de moteur soit niveau structural. Une architecture compromise est ainsi envisagée dans le paragraphe suivant.

B.3. Configuration « compromis »

La configuration suivante est issue d'un compromis des architectures précédentes. En effet, elle a été conçue pour répondre aux contraintes thermiques tout en respectant les spécifications liées à la structure et à l'accessibilité. Elle est ainsi composée d'une structure porteuse en carbone recouverte de PT ignifugée et soutenue par des treillis structuraux. Un tiers de la peau est démontable aisément afin de laisser l'accès au propulseur.

L'objectif de l'étude sous *workbench* sera de dimensionner les événements.

Les évolutions possibles :

- Agrandir les événements en fonction de l'étude
- Ajouter des charnières et des clapets pour fermer le bloc tant qu'il n'y a pas de combustion
- Faire un choix de protections thermiques et d'aménagement interne



Etudes & Modélisations

Le moteur utilisé pour le second étage, le « cariacou » n'est actif que pendant une durée de 0.95s ! Cette donnée nous permet ainsi de considérer un cas de propulsion quasi impulsional. Le lanceur n'est donc soumis aux contraintes induites par le moteur que pendant un temps très court. Les 3000K annoncés par le dossier de définition du moteur sont appliqués le temps de l'allumage seulement sur la partie « basse » (en aval du propulseur, dans l'étage dit « thermique ») et de quelques millisecondes pour la partie « haute » du lanceur (qui contient la charge utile). Il est donc à noter qu'il est plus aisé de tenir aux 3000K dans un cas impulsional que sur une longue durée ! Cet aspect simplifiera notre recherche de matériaux et de protection thermique.

Le deuxième aspect à considérer est la différence entre le flux de gaz chauds en sortie de tuyère (acide chlorhydrique, eau, azote, dioxyde de carbone, ...) et la flamme ! En effet, si les protections thermiques peuvent parer les forts flux de chaleur, ils ne sont pas garantis comme étant ignifugés mais en terme de diamètre, la flamme ne devrait pas atteindre les parois ni les treillis (en fonction de la configuration). Au niveau du déflecteur et de l'étage inférieur, c'est justement la longueur de l'étage « thermique » qui le garantira.

C.1. Choix des matériaux

1-1-Liste des matériaux possibles

Actuellement, de nombreuses protections thermiques (PT) sont utilisées, dans le domaine spatial notamment. Ainsi, dans les PT dites « chaudes », nous trouvons comme composants principaux :

- **le liège et ses dérivés tels que le Norcoat**
- **le dacron (feutre)**
- **l'Aérocoat (très bon anti-feu mais à utiliser exclusivement dans l'atmosphère, lié au phénomène de dégazage)**
- **les silicones tels que le Prosil**
- **les céramiques**
- **la silice**
- **le carbone/carbone, carbone/silicium**
- **la mousse polyamide**
- **les micro-fibres d'alumine**

Ces protections contribuent aux fonctions primaires et structurales que ce soient la transmission d'efforts ou la poussée par exemple. Elles s'adaptent également à l'environnement du vol (acoustique, vibrations essentiellement) et surtout, elles permettent la maîtrise des températures.

Au-delà des protections thermiques, les matériaux structuraux sont également à choisir. Les pièces structurales sont : l'étage supérieur (contenant la charge utile), les treillis porteurs de l'étage « thermique », le déflecteur et la peau de l'étage « thermique » pour certaines configurations. Les matériaux possibles sont donc :



- Pour l'étage supérieur :
 - **Composite fibre de carbone / époxy**, choix lié aux moyens dont dispose le projet que ce soit en terme structural, opérationnel et financier

- Pour l'étage « thermique » : (cas d'une configuration fermée)
 - **Composite fibre de verre / époxy**
 - **Composite fibre de carbone / époxy**

- Pour les treillis de l'étage « thermique » :
 - **Aluminium**
 - **Acier**
 - **Titane**

- Le déflecteur :
 - **Aluminium**
 - **Bois**
 - **Brique réfractaire***
 - **Titane**

Les solutions technologiques vont donc résider dans la combinaison de ces matériaux et des protections thermiques !

*Brique réfractaire : matériau céramique utilisé dans la fonderie et la métallurgie notamment. Les constituants principaux sont la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3), l'argile (teneur en silice de 85 à 91% et 5% minimum d'alumine), le graphite ou encore le carbure de silicium. Les briques sont utilisées dans les fours à ciment, les revêtements intérieurs des hauts fourneaux ou encore dans les préchauffeurs.



1-2-Aménagement de la structure

Etage supérieur :

La structure en composite (fibre de carbone / époxy) devra être protégée du flux de chaleur. En effet, le caractère réutilisable du lanceur nous oblige à opter pour une protection thermique qui sera à remplacer après chaque vol. Les protections thermiques étant en général maintenues par collage à la structure, la réutilisation nécessiterait un travail opérationnel long et fastidieux. S'orienter vers un matériau simplement posé sur la structure paraît alors plus aisé. C'est donc sur cette coque que les protections thermiques pourraient être posées. L'ensemble serait alors changé entre chaque vol. Le coût et la faisabilité de cette configuration semble en accord avec les moyens dont le projet dispose, c'est donc elle qui est retenue.

Voici un tableau comparatif des différentes protections thermiques évoquées précédemment. Le but de ce tableau est d'identifier le matériau qui correspondra le mieux à notre besoin. Ce choix s'appuie ainsi sur plusieurs critères : la conductivité thermique, en effet une basse conductivité indique un matériau isolant et c'est justement ce que nous souhaitons afin de ne pas endommager la structure composite du lanceur, le coût, le projet disposant d'un budget limité, la disponibilité sur le marché d'un tel produit, un produit trop rare et difficile d'approvisionnement n'est pas adapté ici et enfin sa facilité de mise en forme. Le lanceur étant réalisé dans l'optique d'une réutilisation, nous devons garantir la praticité de remise en état du lanceur sur quelques jours voir heures de travail seulement d'où la facilité de mise en forme. Les moyens associatifs dont nous disposons vont fortement conditionner ce critère.

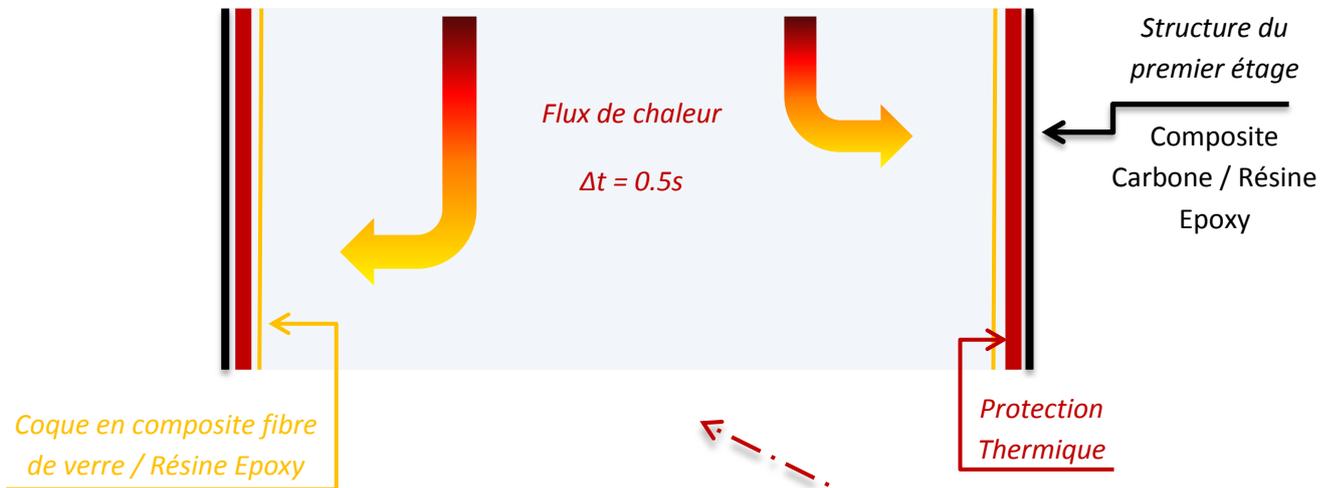
	W/m/K λ à 25°C	COUTS	DISPONIBILITE	MISE EN FORME
liège	0.04	:-)	:-)	:-)
liège Norcoat	0.04	:-)	:-	:-
Dacron	0.033	:-)	:-)	:-)
Aérocoat	-	-	-	-
Prozial	0.8	:-	:-	:-)
Caf	0.8	:-))	:-))	:-)
Céramiques	0.4		:-	:-(
Silice	149	:-(:-(:-(
carbone/carbone	129	:-(:-(:-(
carbone / silicium	139	:-(:-(:-(
mousse polyamide	0.2	:-	:-	:-
microfibre d'alumine	10.9*	-	-	-

Les matériaux qui ressortent sont donc : le **liège**, le feutre **Dacron** et les **silicones**.

Dans le cadre de la réutilisation du lanceur et donc à des fins de praticité, nous avons imaginé réaliser une première couche en fibre de verre (en raison de son faible coût, de sa faible conductivité thermique de sa manipulation maîtrisée au sein de l'ESO) sur laquelle sera collée la protection thermique. L'ensemble sera ensuite assemblé dans l'étage lanceur via un ajustement serré. Le but étant que en cas de fonte de la résine époxy issue du composite fibre de verre / résine, celle-ci ne

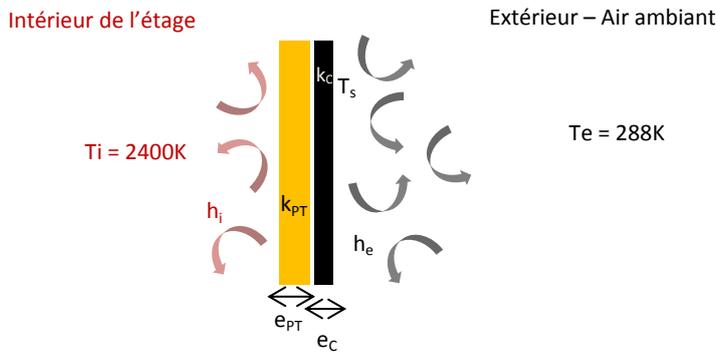


détériorer pas le composite carboné. La protection thermique ne sera pas non plus collée sur l'étage pour la même raison. Cette configuration permettra ainsi une maintenance aisée en termes de manipulation et de temps. Il reste cependant à calculer l'épaisseur de cette fameuse protection thermique !



Calcul de l'épaisseur de protection thermique nécessaire :

Analogie électrique :



$$\dot{Q}_t R_t = T_i - T_e \text{ avec } R_t = \frac{1}{h_i S} + \frac{e_{PT}}{k_{PT} S} + \frac{e_c}{k_c S} + \frac{1}{h_e S}$$

$$\text{D'où } \frac{\dot{Q}_t}{S} = \frac{T_i - T_e}{R_t S} \Leftrightarrow \varphi = \frac{T_i - T_e}{R_t S}$$

Or, à la surface, on a : $\varphi = h_e(T_s - T_e)$ d'après la loi de Newton

On a ainsi :

$$\begin{aligned} \frac{T_i - T_e}{\left(\frac{1}{h_i S} + \frac{e_{PT}}{k_{PT} S} + \frac{e_c}{k_c S} + \frac{1}{h_e S}\right) S} &= h_e(T_s - T_e) \\ \Leftrightarrow \frac{1}{h_i} + \frac{e_{PT}}{k_{PT}} + \frac{e_c}{k_c} + \frac{1}{h_e} &= \frac{T_i - T_e}{h_e(T_s - T_e)} \\ \Leftrightarrow e_{PT} &= k_{PT} \left(\frac{T_i - T_e}{h_e(T_s - T_e)} - \left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_c}{k_c} + \frac{1}{h_e} \right) \right) \end{aligned}$$

Paramètres :

T_i	2400	K
T_e	288	K
T_s	1650	K
h_e	10	Wm⁻²K⁻¹
h_i	6000	Wm⁻²K⁻¹
e_c	2	mm
k_c	0.7	Wm⁻¹K⁻¹
K_{PT}	0.04	Wm⁻¹K⁻¹

On a ainsi, comme épaisseur de protection thermique (en liège) :

$$e_{PT} = 2.1 \text{ mm}$$



Etage inférieur :

✓ **Structure**

Dans le cas d'une configuration fermée, la peau sera réalisée en composite carbone / résine époxy. Notons que pour la géométrie ouverte, cette partie est inexistante.

✓ **Treillis**

Les caractéristiques mécaniques et thermiques nous poussent à choisir entre l'acier et le titane qui serait l'idéal. Son coût ne permet malheureusement pas encore de pouvoir sélectionner cette solution définitivement. La densité de l'acier étant bien supérieure à celle du titane, nous effectuerons une étude de résistance des matériaux afin de dimensionner le nombre de treillis nécessaires. Nous craignons en effet une forte flèche sur cet étage. Afin de protéger les treillis du flux de chaleur intense mais de courte durée émanant du Cariatou, nous envisageons également un habillage de protection thermique.

Les treillis seront des tiges filetées de diamètre 10 ou 12mm (confirmation par l'étude RDM) de 50cm de longueur (le diamètre est conforme à ce qui existe dans le commerce et pour un coût acceptable).

⇒ Nous prendrons du titane si le coût de ces derniers nous le permet ou de l'acier en second choix.

✓ **Défecteur**

La courte durée de présence du flux moteur et le fait que le déflecteur soit une pièce non mécanique permettent d'envisager des matériaux « moins nobles ». Le bois, le contre-plaqué ainsi que la brique réfractaire (déjà utilisée sur le projet *Minotaure*) sont donc envisagés.

	λ	Densité	Coût	T de fusion	Creux ? (fils)	E (Mpa)	TREILLIS
Aluminium	237	2.699	:-)	660°C	-	70 000	
Acier	46	8	:-	800-900°C	-	250 000	
Titane	21.9	4.51	:-)	1 668°C	-	100 000	

	λ	Densité	Coût	T de fusion	Creux ? (fils)	E (Mpa)	DEFLECTEUR
Bois (chêne, noyer)	0.15	0.560-1.170	:-	-	-	-	
Contre-plaqué	0.13	0.440-0.880	:-	-	-	-	
Aluminium	237	2.699	:-	-	-	-	
Titane	21.9	4.51	:-)	-	-	-	
Brique réfractaire	0.84	0.9 - 2.5	:-)	-	-	-	

⇒ En termes de résistance à la chaleur, le **bois** semble être le matériau le plus approprié, sa densité permet également de choisir cette solution (Chêne et Noyer). Notons qu'en cas de problèmes de coûts ou d'usinage, la brique réfractaire peut fonctionner également en second choix.

C.2. Etude de l'écoulement en sortie de tuyère et évolution de la température



Les données de base du Cariatou nous permettent de pouvoir étudier les conditions génératrices du propulseur et donc de connaître les caractéristiques de l'écoulement en sortie de tuyère.

Hypothèses :

- La tuyère est amorcée, le col est donc par définition sonique
- La tuyère est adaptée, $P_s = P_a = 1 \text{atm}$
- Le coefficient $\gamma = 1.18$ (utilisé pour le Butalane) dans les écoulements isentropiques (sans discontinuité)

Formules utilisées :

Écoulement isentropique ou homentropique de gaz idéal

Source : Tables de Détente Supaero Cépaduès-Éditions

$$\omega = \frac{p}{p_i} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{-\gamma}{\gamma - 1}}$$

$$R = \frac{\rho}{\rho_i} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{-1}{\gamma - 1}}$$

$$\theta = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{-1}$$



Caractéristiques propulseur

Φ_d	12.7 mm	A_d	0.000126677 m ²	126.68 mm ²
Φ_c	6.1 mm	A_c	2.92247E-05 m ²	29.22 mm ²
K	4.3			

EQUATION DU DEBIT MASSE PROPERGOL

ρ_p	1850 kg/m ³	Densité propergol	γ	1.18	Valeur utilisée pour un propulseur butalane
S_b	4.79093E-06 m ²	Surface de combustion	R	8.314 SI	
a	964.9 m/s	Vitesse du son	m_{mol}	0.0353 kg/mol	
$P_0 = P_i$	2501909 Pa *	2.5 MPa	$T_0 = T_i$	3350 K	Valeur utilisée pour un propulseur butalane
n	0.3	Valeur utilisée pour un propulseur butalane			

qb	0.0842 kg/s	car	80g / 0.95s	=>	uc = 9.501 m/s
----	-------------	-----	-------------	----	----------------

DEBIT MASSE AU COL

S_c	2.92247E-05 m ²	car col sonique			
uc	=ac				
$C_{D,th}$	0.000726 s/m	Coefficient de Débit théorique			ORDRE DE GRANDEUR OK
$C_{D,real}$	0.000737 s/m	Vitesse caractéristique			
C*	1378.0				
qc	0.0842 kg/s				

REGIME STATIONNAIRE qb = qc

Pour $\gamma=1.18$, Mach en sortie de tuyère :

(d'après tables de détente isentropique cours de propu solide)

	Mach	A/Ac	T/Ti	P/Pi	P	T	Cf _{th}
a	6.0545	-0.1791	-0.077255				
b	-11.69616	1.08736	0.2450503				
		2.640	4.28772	0.614536	0.0410971	-	-
		2.648	4.3	0.6131496	0.04049907	101325	2054
		2.660	4.40881	0.610954	0.039552	1.0	-
						atm	K
							1.63



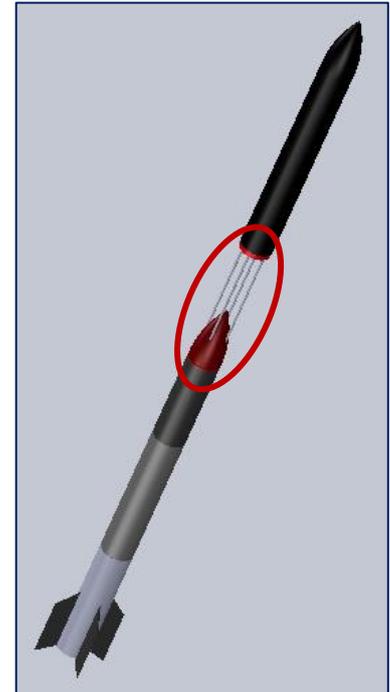
On obtient ainsi un écoulement à **Mach 2.648** avec une température de sortie de **2400K**. Ces résultats constituent nos points d'entrée pour les études suivantes.

✓ **Écoulement de flux : CFD**

Il s'agit de l'écoulement s'établissant dans l'étage « thermique », situé en dessous de l'étage Reflex.

Hypothèses de départ :

- Débit massique : 0.082 kg/s
- Température de sortie de tuyère : 2400K
- Vitesse de sortie de tuyère : Mach 2.64
- Pression de sortie : 1 atm
- Durée de la phase : < 1s



2-2-1- Géométrie

Les retours d'expérience présentés dans ce rapport ainsi que les conditions d'opérabilité nous amène à choisir la géométrie « ouverte » pour l'étage « thermique ». En effet, elle offre une accessibilité aisée du propulseur et donc des manipulations pyrotechniques au sol, un point essentiel ! Les études ont été menées en 2D pour des raisons de simplicité et de temps de calculs ; en tenant compte de la symétrie de notre problème, nous pouvons donc accepter cette représentation 2D comme viable. Une étude 3D est cependant en cours.

2-2-2- Maillage

✓ **Maillage du modèle 2D**



2-2-3- Fluent

Etape 1 – « Solution Setup » - « General »



Nous sommes dans une expérience d'une durée de moins de 1s durant laquelle des espèces chimiques issues de la combustion du Butalane s'écoulent dans un étage « thermique » de 40cm de long à Mach 2.6 à 2400K ! Nous considérons ainsi ici un **écoulement compressible, turbulent** en **régime transitoire**.

« Solution Setup » - « Models »

Les hypothèses précédentes se traduisent par des choix de modèles :

- ✓ L'écoulement **compressible** se traduit par la résolution de l'équation de l'énergie et par un fluide suivant la loi des gaz parfait (en l'occurrence l'air dans notre étude simplifiée).
- ✓ Le régime **transitoire** se traduit par le choix « transient » au lieu de « steady » dans l'onglet « General » de Fluent.
- ✓ La couche limite au niveau du déflecteur étant **turbulente**, on choisit le modèle k- ω (adapté pour les écoulements turbulents et en proche paroi).

« Solution Setup » - « Materials »

On considère dans notre étude que le flux est composé d'air. On néglige donc les propriétés spécifiques de l'acide chlorhydrique en solution aqueuse. Ce choix pourra être remis en cause dans le cadre d'une poursuite de l'étude qui devra par conséquent utiliser le modèle « species » dédié aux espèces chimiques.

Les autres matériaux utilisés sont donc : le bois pour le déflecteur et l'aluminium pour les bagues.

« Results »

Le calcul s'effectue pour une température d'entrée de 1000K à Mach 2.68 et pour une pression de 1atm en régime transitoire.

L'air est considéré comme un *Ideal Gas* car nous utilisons en entrée le *Pressure Far Field* en indiquant la température et le Mach en sortie de tuyère du Cariatou.

Le régime étant transitoire, nous indiquons les tailles des time steps et leur nombre. Afin d'observer le comportement de l'écoulement au niveau du déflecteur et de manière précise (puisque l'écoulement total dure moins d'une seconde), on utilise un time step de 10^{-5} s et avec 1500 time step. (Notons 30 itérations par time step au maximum).

- ✓ **Vérification**



MASS IMBALANCE

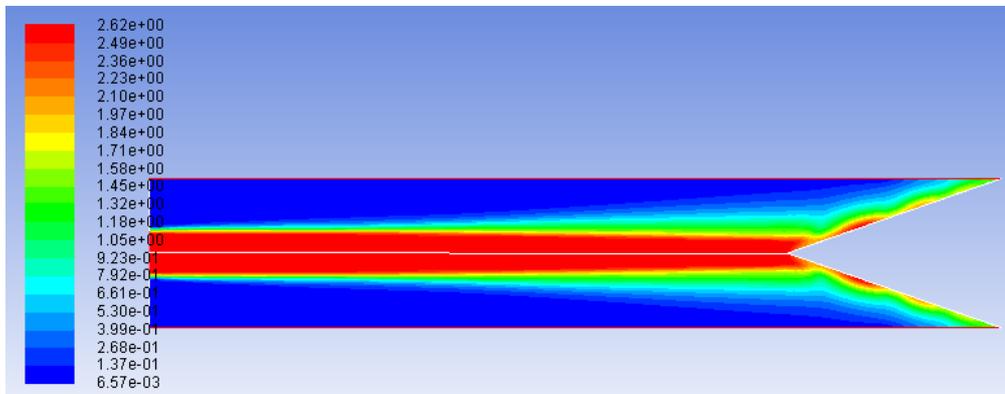
Les « *mass imbalance* » étant de l'ordre de 10^{-7} kg/s, on confirme la vraisemblance des résultats (cf. Annexe 1).

✓ Résultats

PRESSION

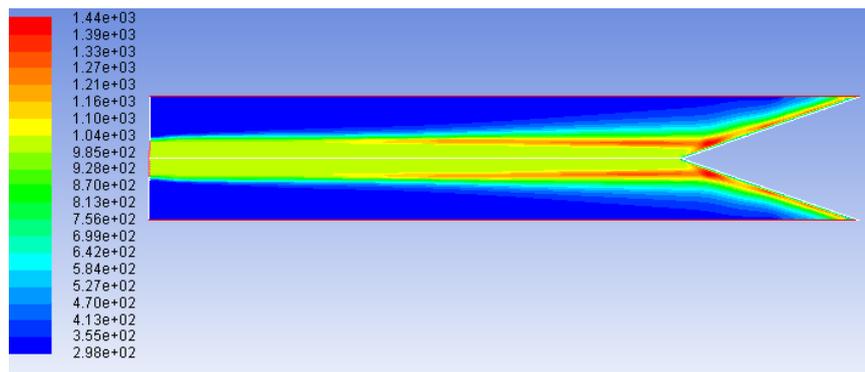


VELOCITY – Nombre de Mach



On remarque que la pression qui règne dans le domaine est de 1 atm ce qui correspond bien à notre pression en sortie de propulseur. L'air entourant le lanceur étant également de 1 atm, il en résulte un équilibre des pressions. Seul le haut du déflecteur est le siège d'une surpression puisqu'il s'agit d'un point d'arrêt. S'en suit alors une dépression liée à l'accélération de l'écoulement puis une surpression qui découlerait de la stabilisation de la vitesse dans le cas d'un régime permanent. Le régime étant transitoire, on observe une répétition du phénomène le long du déflecteur.

TEMPERATURE



Pour un test à 1000K, les résultats montrent que l'arrivée du flux sur le déflecteur implique une montée en température à plus de 1400K. Les 2400K n'ayant pu être rentrés dans les hypothèses du modèle Fluent, nous utiliserons donc les conjectures des résultats à 1000K que nous transposerons pour les 2400K. Le tout étant essentiellement d'avoir une vision du comportement du fluide.

On remarque également que pour limiter les contraintes thermiques au niveau des treillis en acier, leur intégration proche du bord de la bague les place ainsi dans une zone plus « froide ». L'absence de peau en composite permet de s'affranchir des protections thermiques, il n'y a donc aucune contrainte thermique sur cet aspect ci. Le déflecteur quant à lui se situe dans la zone où régit la température maximale. Le choix d'un matériau isolant thermiquement est donc plus que validé. Seul problème, la flamme. En effet, si le bois choisi pour réaliser le déflecteur est un très bon isolant, il ne peut résister au feu. Il sera donc recouvert d'une peinture ignifugée tout comme l'ensemble de l'extérieur des tubes « étage ». Notons que la solution secondaire avec la brique réfractaire fonctionne également dans ce cas, elle semble presque encore plus adaptée puisque ce type de matériau est utilisé dans les hauts fourneaux.

Bilan de l'étude & Conclusion

L'étude Fluent a permis d'amorcer la modélisation du comportement des gaz en sortie de Cariatou. Nous arrivons donc à déterminer que la température de ceux-ci peut atteindre 2400K ! Malheureusement, le temps de se former à Fluent et de maîtriser autant de paramètres pour une étude aussi complexe ne permet pas à l'heure actuelle de ne baser notre réflexion que sur l'étude CFD. Nous pouvons cependant compléter notre étude avec le retour d'expérience. Ainsi, compte-tenu des ordres de grandeur en sortie de tuyère, la géométrie ouverte paraît le plus sécurisant. En effet, une géométrie fermée induit de fortes contraintes thermiques sur les parois donc une réelle contrainte pour l'aspect réutilisable et surtout, au niveau de la pression interne du tube. L'ouverture de ce tube par des clapets ou des ouvertures permanentes induisent des pertes mécaniques. En effet, ouvrir plus de 1/3 de la circonférence du tube de l'étage n'est pas autorisé par le cahier des charges fusex. Il faudrait ainsi ajouter des treillis en plus du tube... d'où un gain en masse sans réel plus au niveau du Cx. La géométrie ouverte bénéficie également du retour d'expérience qui a démontré sa faisabilité et son fonctionnement ! Choisir cette géométrie c'est choisir une solution déjà éprouvée et compte-tenu des risques déjà pris dans ce projet, nous jugeons sage de l'intégrer sur *Matriochka*. Suite à une discussion avec un expert en thermique de Airbus DS, nous adoptons aussi un point de vue relativiste, en effet, bien que la température au niveau du déflecteur atteigne les 2400K, l'écoulement dure moins de 0.95s ! Les matériaux choisis pour le déflecteur et les treillis ainsi que les protections thermiques internes de l'étage supérieur résisteront à cette durée.

A la suite de cette étude thermique, nous effectuerons une étude RDM afin de valider le choix des treillis (nombre, matériaux, diamètre et longueur). Le but étant de minimiser la flèche globale du lanceur.

Pour ce qui est de l'aspect thermique, nous mènerons une expérience une fois la structure réalisée afin de vérifier la tenue de l'étage. Cette expérience devra refléter l'environnement en sortie de Cariatou, mais nous avons d'ores et déjà les données.

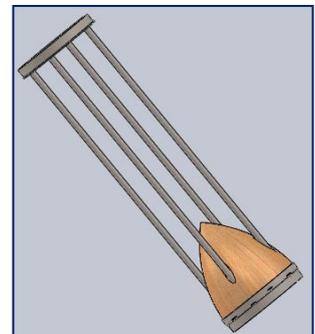
Bilan : Géométrie de la séparation chaude

Nous choisissons ainsi la configuration « géométrie ouverte » avec :

- Des **treillis** en **titane** ou **acier** (en fonction du coût) de 50cm de longueur et de diamètre 10 à 12mm (en fonction de l'étude RDM)

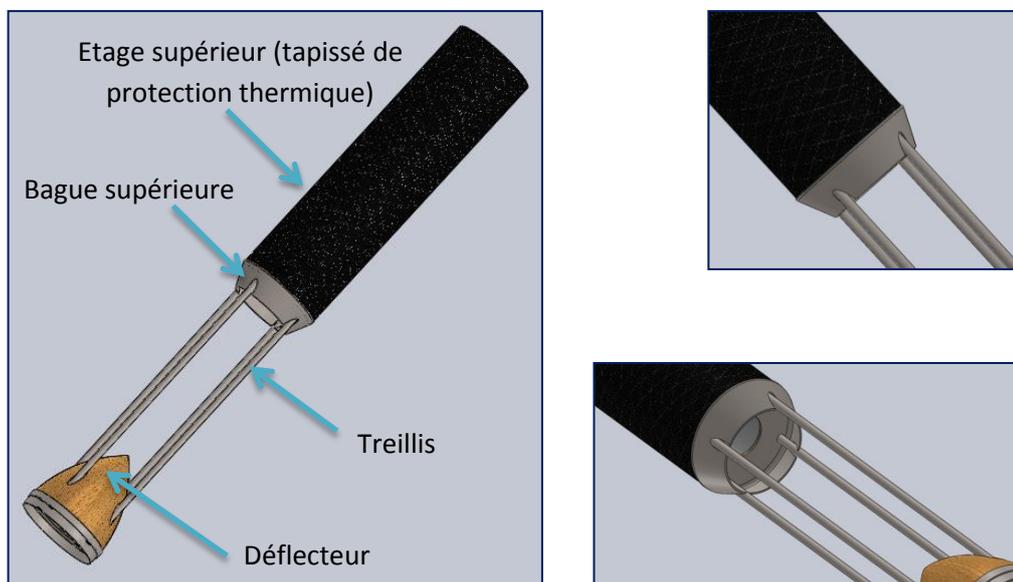
Notons que la masse du système avec de l'acier inoxydable de diamètre 12mm est de 2.5kg.

- Un **défecteur** de longueur 15mm en **bois** (ou brique réfractaire en solution de secours), de préférence en Chêne pour sa capacité d'isolation thermique et sa faible densité. Le déflecteur pourra être recouvert d'une **peinture ignifugée** afin d'aider à la résistance au flux du Cariatou.



- Les **peaux en carbone / époxy** seront également recouverte de peinture ignifugée à l'extérieur du tube pour les étages inférieurs et à l'intérieur pour l'étage contenant Reflex (puisque cet étage voit la flamme du propulseur).
- L'**étage supérieur** contenant Reflex, sera recouvert par de la **protection thermique**.

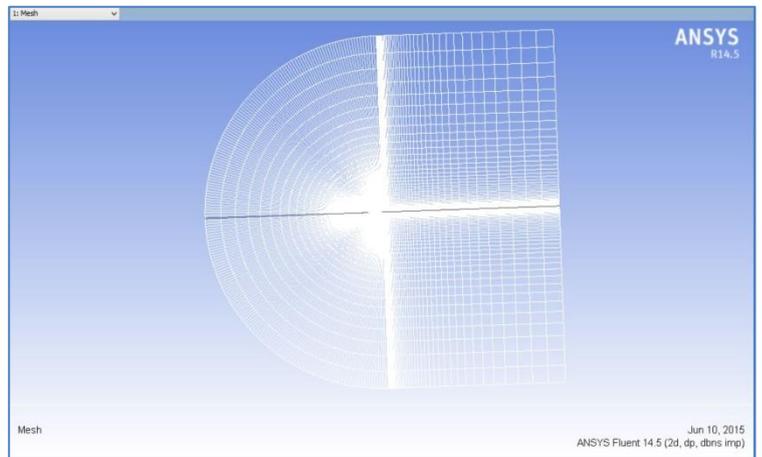
On remarque cependant que la géométrie ouverte dégrade l'aérodynamique du lanceur car crée un second culot (ou fin de forme). Cette fin très franche de l'étage supérieur doit être optimisée pour ne pas faire doubler le Cx global du lanceur !



Annexe 7 : Tentative de dimensionnement par Computational Fluid Dynamics (CFD - logiciel Ansys Fluent)

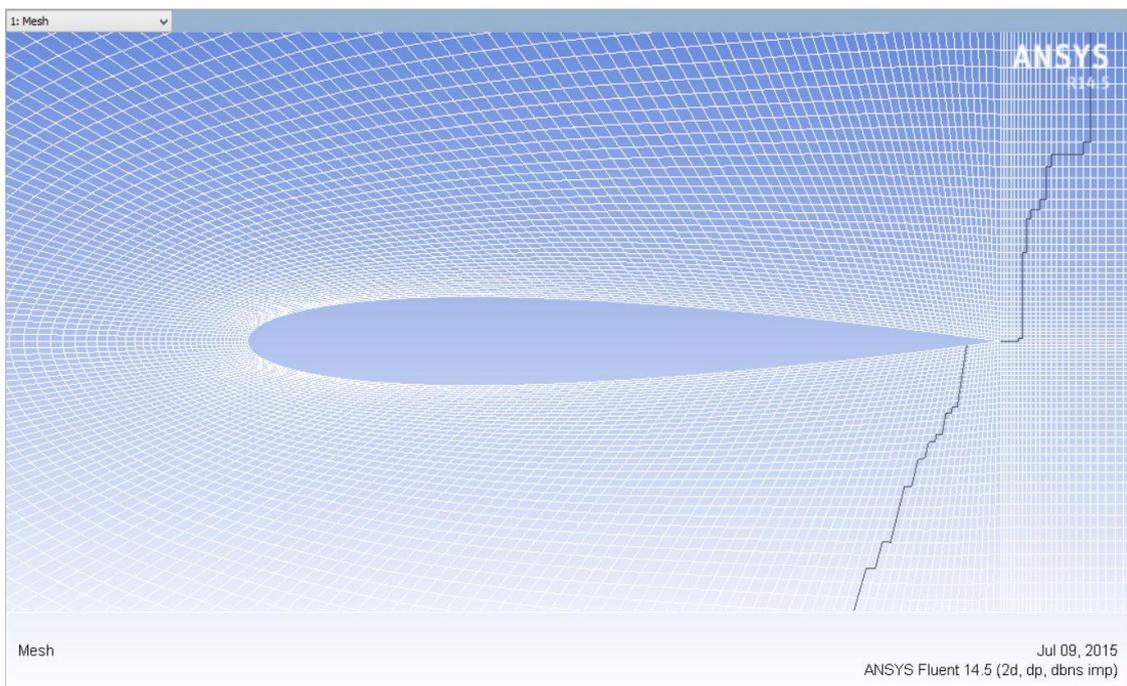
Pour dimensionner les ailerons de Stimulus avec plus de précision, nous avons essayé de caractériser leur comportement aérodynamique par CFD, c'est-à-dire par simulations numériques. Plus précisément, nous avons effectué des simulations 2D consistant en un calcul des coefficients de portance d'une plaque plane et du NACA 0009-sm via *ANSYS Fluent*.

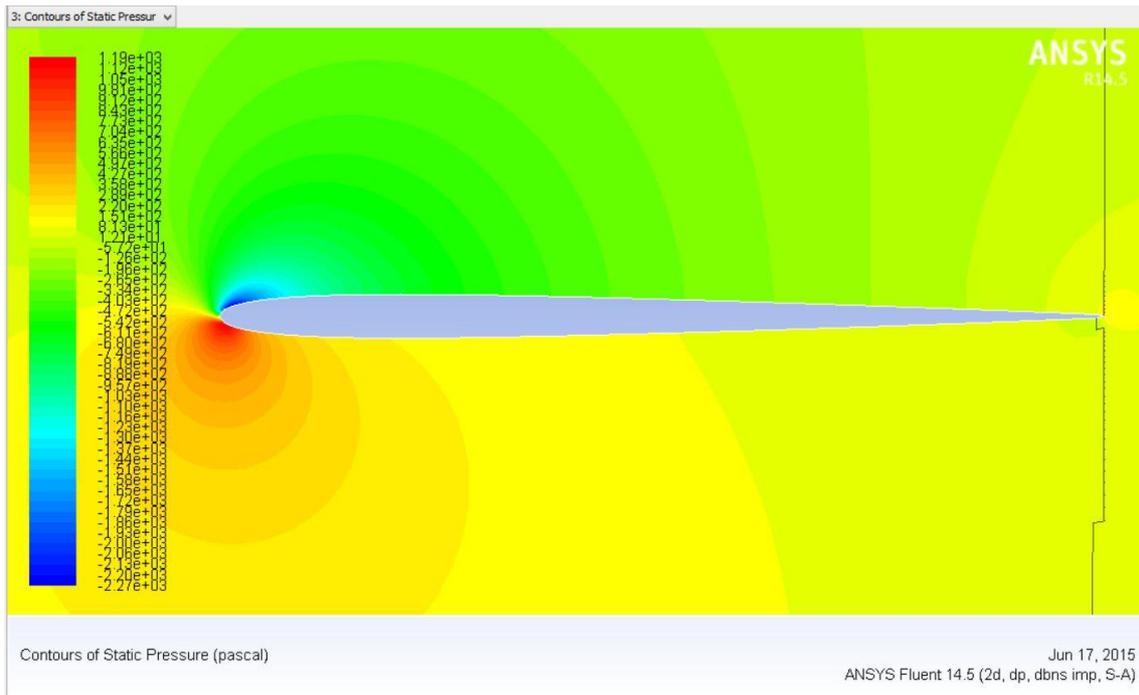
Objectif de l'étude CFD : vérifier la cohérence des données d'AirfoilTools et de la formule $C_{z_{pp}} = 2 \cdot \pi \cdot \alpha$ issue de la théorie de la plaque plane.



Les **caractéristiques** de l'étude CFD en bref :

- Maillage de type C-Mesh
- Tentative de convergence du maillage : Structured mesh with quadrilateral cells vs. Unstructured mesh with tetrahedron cells
- Modèle : Spalart Allmaras (modèle très utilisé pour les études aérodynamiques).





Validation des hypothèses de simulations : Avant de passer à l'étude de notre profil (NACA 0009-sm), nous avons cherché à valider notre modèle de simulations. Pour ce faire, nous avons appliqué nos hypothèses de simulations à un profil bien connu : le NACA 0012. Ce profil constitue une référence dans le milieu car on trouve facilement de nombreux résultats d'essais en soufflerie et de simulations numériques qui lui ont été appliqués. Pour valider notre modèle, il nous fallait donc faire coïncider nos résultats et ceux connus et accessible sur Internet via plusieurs sources différentes. Malheureusement, malgré diverses tentatives et l'utilisation d'hypothèses différentes, nous ne sommes pas parvenus à retrouver les résultats de référence.

Cette étude numérique, bien qu'elle nous ait permis de nous former à la CFD, ne nous a pas apporté de résultats plus précis que notre étude analytique. Toutefois, cette dernière semble assez précise et fiable pour justifier de la réduction de la surface projetée des ailerons profilés par rapport à celle en plaque plane.



Annexe 8 : Script trajectographie Matlab et programme de vol Arduino

1. Code Embarqué

Le code programmé au sein de l'arduino 101 permet de définir deux des sécurités de la carte de Mise à Feu. On distingue d'une part l'intégrale de poussée, et la vérification d'attitude.

```
#include "NAxisMotion.h"
#include "Wire.h"
#include "CurieIMU.h"
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

//Madgwick filter;
NAxisMotion mySensor;

bool      push_detect = false,  att = false,      inte = false;
int       gyroRange,          accelerometerRange,  frequency;
int       jack = 5,           integrale = 6,      attitude = 7,
test_mode = 0;
const int chipSelect = 10; // If problem in record test theses values
4/6/8/12
int       aix, aiy, aiz, gix, giy, giz, count = 1, count2 = 1;
double    ax_filt = -1, ax, ay, az, gx, gy, gz, mx, my, mz;
double    sum = 0.f, dt = 0.f, start_time, times = 0;
double    roll, pitch, yaw, dpitch, tilt, thresh = 70, tilt_max = 40, gain
= 0.75;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  /* IMU setup */
  Serial.println("Testing device connections...");
  if (CurieIMU.begin()) {
    Serial.println("CurieIMU connection successful");
  } else {
    Serial.println("CurieIMU connection failed");
  }
  accelerometerRange = 16;
  gyroRange = 500;
  frequency = 100;
  CurieIMU.begin();
  CurieIMU.setGyroRate(frequency);
  CurieIMU.setAccelerometerRate(frequency);
  CurieIMU.setAccelerometerRange(accelerometerRange);
  CurieIMU.setGyroRange(gyroRange);
  // CurieIMU.autoCalibrateAccelerometerOffset(X_AXIS, -1);
  // CurieIMU.autoCalibrateAccelerometerOffset(Y_AXIS, 0);
  // CurieIMU.autoCalibrateAccelerometerOffset(Z_AXIS, 0);

  /* SD card */
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    return;
  }
  Serial.println("card initialized.");
}
```



```

/* Sensor Fusion shield */
I2C.begin();
mySensor.initSensor();
mySensor.setOperationMode(OPERATION_MODE_NDOF); // 9 Degrees of Freedom
Sensor Fusion
mySensor.setUpdateMode(MANUAL);
mySensor.updateAccelConfig();

/* I/O */
pinMode(jack, INPUT);
pinMode(integrale, OUTPUT);
pinMode(attitude, OUTPUT);
digitalWrite(integrale, LOW);
digitalWrite(attitude, LOW);
}

void loop()
{
  start_time = millis();

  /* --- INPUTS ----- */

  // Update sensors data
  CurieIMU.readMotionSensor(aix, aiy, aiz, gix, giy, giz);
  mySensor.updateMag();
  mySensor.updateCalibStatus();
  mySensor.updateEuler();

  // Read values (NED frame)
  ax  = +(aix * accelerometerRange)/32768.0;
  ay  = -(aiy * accelerometerRange)/32768.0;
  az  = +(aiz * accelerometerRange)/32768.0;
  gx  = +(gix * gyroRange)/32768.0;
  gy  = +(giy * gyroRange)/32768.0;
  gz  = +(giz * gyroRange)/32768.0;
  mx  = -mySensor.readMagY();
  my  = -mySensor.readMagX();
  mz  = -mySensor.readMagZ();
  roll = +mySensor.readEulerRoll();
  pitch = +mySensor.readEulerPitch();
  yaw  = +mySensor.readEulerHeading();

  /* --- OUTPUTS ----- */

  // Calcul d'inclinaison
  if (pitch > 90){
    dpitch = +pitch - 90;
    pitch  = -dpitch + 90;
  }
  else if (pitch < -90){
    dpitch = pitch + 90;
    pitch  = -dpitch - 90;
  }
  tilt = sqrt((90-pitch)*(90-pitch)+roll*roll);

  // Vérification de l'attitude de vol
  if (tilt < tilt_max){
    digitalWrite(attitude, HIGH);
    att = true;
  }
  else{

```



```

digitalWrite(attitude, LOW);
att = false;
}

// Détection de début de poussée
if(test_mode == 1){
  if(count2==1){
    Serial.println("----- MODE TEST -----");
    count2 = 2;
  }
  if(-ax > 1.25){
    push_detect = true;
    thresh = 0;
  }
}
else{
  if(count2==1){
    Serial.println("----- MODE VOL -----");
    count2 = 2;
  }
  ax_filt = ax_filt*(gain) + ax*(1-gain);
  if(-ax_filt > 2.0){
    push_detect = true;
  }
}

// Intégrale de Poussée
if(push_detect){
  if (sum>thresh){
    if(count==1){digitalWrite(integrale, HIGH);}
    inte = true;
    count = 2;
  }
  else{
    sum = sum + 9.80665*(-ax)*(dt/1000);
    inte = false;
    if (sum<0){sum=0;}
  }
}

/* --- RECORD ----- */

// Build string with sensors datas
String dataString = String(times, 3) + "," + String(tilt , 3) + "," +
String(sum , 3) + "," +
String(ax , 3) + "," + String(ay , 3) + "," +
String(az , 3) + "," +
String(gx , 3) + "," + String(gy , 3) + "," +
String(gz , 3) + "," +
String(mx , 3) + "," + String(my , 3) + "," +
String(mz , 3) + "," +
String(roll , 3) + "," + String(pitch, 3) + "," +
String(yaw , 3) + "," +
String(att) + "," + String(inte) + "," +
String(push_detect);

// Write in SD card
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile) {
  dataFile.println(dataString);
  dataFile.close();
}

```



```
    Serial.println(dataString);
}
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}

// Refresh time
dt = millis()-start_time;
times += dt/1000.0;
}
```



2. Post-traitement

Nous avons défini un code Matlab R2016a permettant de visualiser les mesures des capteurs embarqués et de tenter une trajectographie simplifiée.

```
%% Main programm
clear all
close all
clc

%% Load sensor measurements
Data = load('test1.dat');
counter = size(Data(:,1));
... Real current time [s]
t = (Data(:,1)-2996.476);      tilt = (Data(:,2));      sum = Data(:,3);
... Accelerations measured by accelerometers [g]
ax = Data(:,4);      ay = Data(:,5);      az = Data(:,6);
... Rotation speed of gyrometers [deg/sec]
gx = Data(:,7);      gy = Data(:,8);      gz = Data(:,9);
... Magnetic field [µT]
mx = Data(:,10);     my = Data(:,11);     mz = Data(:,12);
... Euler angles [deg]
psi = Data(:,13);    theta = Data(:,14);    phi = Data(:,15)-180;
... Booleans
attitude = Data(:,16);  integrale= Data(:,17);  push_detect = Data(:,18);

%% Constants and Inits
% Initial Speed [m/s]
... Ground frame
vx(1)      = 0;
vy(1)      = 0;
vz(1)      = 0;
... Air frame
u(1)       = 0;
v(1)       = 0;
w(1)       = 0;
% Initial Position [m]
... Ground frame
x(1)       = 0;
y(1)       = 0;
z(1)       = 0;
... Air frame
xa(1)      = 0;
ya(1)      = 0;
za(1)      = 0;
% "Intégrale de Poussée" [m/s]
sum(1)     = 0;
% Gravity field [m/s²]
g          = 9.80665;

%% Simulation
for i = 1:1:counter(1)

    % Current hardware time
    if i<counter(1)
        Te = (t(i+1)-t(i));
    end

    % Compute
    roll   = phi(i)*pi/180;
```



```

pitch    = theta(i)*pi/180;
yaw      = psi(i)*pi/180;

% Rotation Matrix
R11 = -cos(yaw)*cos(pitch);
R12 = +sin(yaw)*cos(roll)-cos(yaw)*sin(pitch)*sin(roll);
R13 = -sin(yaw)*sin(roll)-cos(yaw)*sin(pitch)*sin(roll);
R21 = -sin(yaw)*cos(pitch);
R22 = +cos(yaw)*cos(roll)-sin(yaw)*sin(pitch)*sin(roll);
R23 = +cos(yaw)*sin(roll)-cos(yaw)*sin(pitch)*sin(roll);
R31 = +sin(pitch);
R32 = -cos(pitch)*sin(roll);
R33 = -cos(pitch)*cos(roll);
R = [R11 R12 R13; R21 R22 R23; R31 R32 R33];

% Body frame specific accelerations
if ax(i)==0
    ax(i) = ax(i-1);
end
u_dot(i) = -ax(i)-sin(pitch);
v_dot(i) = -ay(i)+sin(roll)*cos(pitch);
w_dot(i) = -az(i)+cos(roll)*cos(pitch);

% Integer
if i<counter(1)
    % Body frame speed
    u(i+1) = u(i) + g*u_dot(i)*Te;
    v(i+1) = v(i) + g*v_dot(i)*Te;
    w(i+1) = w(i) + g*w_dot(i)*Te;
    v(i+1) = 0.0;
    w(i+1) = 0.0;

    % Ground frame speed
    vx(i+1) = R11*u(i+1)+R12*v(i+1)+R13*w(i+1);
    vy(i+1) = R21*u(i+1)+R22*v(i+1)+R23*w(i+1);
    vz(i+1) = R31*u(i+1)+R32*v(i+1)+R33*w(i+1);

    % Body trajectory
    xa(i+1) = xa(i) + (u(i+1)+u(i))*Te*0.5;
    ya(i+1) = ya(i) + (v(i+1)+v(i))*Te*0.5;
    za(i+1) = za(i) + (w(i+1)+w(i))*Te*0.5;

    % Position
    x(i+1) = x(i) + (vx(i+1)+vx(i))*Te*0.5;
    y(i+1) = y(i) + (vy(i+1)+vy(i))*Te*0.5;
    z(i+1) = z(i) + (vz(i+1)+vz(i))*Te*0.5;

    wind(i) = ((xa(i+1)-xa(i)) - (z(i+1)-z(i))) / Te;

    %Reset
    if xa(i+1) < 0
        xa(i+1) = 0;
        u(i+1) = 0;
        v(i+1) = 0;
        w(i+1) = 0;
    end
    if z(i+1) < 0
        z(i+1) = 0;
        vx(i+1) = 0;
        vy(i+1) = 0;
        vz(i+1) = 0;
    end
end

```



```

        end
    end

end

end

end

%% Attitude and sensors motion
figure(1)

subplot 321
plot(t,ax,'r')
hold on
plot(t,ay,'g')
hold on
plot(t,az,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Accelerometer measurements (g) ');
title('Accelerometers');
legend('ax','ay','az');

subplot 323
plot(t,gx,'r')
hold on
plot(t,gy,'g')
hold on
plot(t,gz,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Rotation speed (deg/s) ');
title('Gyrometers');
legend('gx','gy','gz');

subplot 325
plot(t,mx,'r')
hold on
plot(t,my,'g')
hold on
plot(t,mz,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Magnetic field ( $\mu$ T) ');
title('Magnetometers');
legend('mx','my','mz');

subplot 322
plot(t,phi,'r')
hold on
plot(t,theta,'g')
hold on
plot(t,psi,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Phi / Theta / Psi (deg) ');
title('Euler Angles');
legend('phi','theta','psi');

subplot 324
plot(t,tilt,'k')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Tilt (deg) ');

```



```

title('Inclinaison');

subplot 326
plot(t,sum,'r')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Integer (m/s) ');
title('"Intégrale de Poussée"');

%% Dynamics and position

figure(2)

subplot 321
plot(t,u_dot,'r')
hold on
plot(t,v_dot,'g')
hold on
plot(t,w_dot,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Acceleration (g) ');
title('Body frame accelerations');
legend('ax','ay','az');

subplot 323
plot(t,u,'r')
hold on
plot(t,v,'g')
hold on
plot(t,w,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Speed (m/s) ');
title('Body frame speeds');
legend('u','v','w');

subplot 325
plot(t,vx,'r')
hold on
plot(t,vy,'g')
hold on
plot(t,vz,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Speed (m/s) ');
title('Ground frame speeds');
legend('vx','vy','vz');

subplot 322
plot(t,z,'r')
hold on
plot(t,xa,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Altitude (m) ');
title('Altitude trajectory');
legend('ground','body');

subplot 324
plot(t,x,'r')

```



```

hold on
plot(t,-za,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('X (m) ');
title('X trajectory');
legend('ground','body');

subplot 326
plot(t,y,'r')
hold on
plot(t,-ya,'b')
hold on
xlabel('Time (second) ');
ylabel('Y distance (m) ');
title('Y trajectory');
legend('ground','body');

%% Boolean

figure(3)
plot(t, attitude, 'r')
hold on
plot(t, integrale, 'g')
hold on
plot(t, push_detect, 'b')
hold on
grid on
xlabel('Time (second)');
ylabel('Booleans');
title('Booleans');
legend('attitude','integrale','push detect');

%% 3D Trajectory

figure(4)
color1 = [1;0;0.33];
color_ombre1 = [1;0.5;0.5];
% subplot 211
plot3(x,y,z,'color',color1,'LineWidth',2)
hold on
plot3(x,y,z*0,'color',color_ombre1,'LineWidth',4)
hold on
plot3(x*0+max(x),y,z,'color',color_ombre1,'LineWidth',4)
hold on
plot3(x,y*0+max(y),z,'color',color_ombre1,'LineWidth',4)
hold on
grid on
xlim([min(x) max(x)])
ylim([min(y) max(y)])
xlabel('X (m) ');
ylabel('Y (m) ');
zlabel('Z (m) ');
title('3D ground Trajectory');

```



Annexe 9 : Rapports d'étonnement

✎ François Andrusyszyn

L'aventure Matriochka a commencé il y a trois ans pour moi. A l'époque, il était prévu que le projet ne dure que deux ans. Une première année dévolue aux différentes études de sécurité, thermique... Ces projets, réalisés en tant que projet étudiant, ont tous été menés à bien et m'ont donné la possibilité d'apprendre de nombreuses choses. Le CNES nous avait alors demandé d'étudier une solution autre que la séparation à chaud de Reflex (il vaut toujours mieux avoir plusieurs solutions sous le coude). Cette étude a fait l'objet d'un projet de PIA qui nous avait permis de conclure que le système le plus simple et le moins risqué restait la séparation chaude. L'ensemble des études avait finalement été réunies dans un seul et même dossier envoyé ensuite au CNES. La fin de l'année avait vu la réalisation des peaux porteuses en carbone ainsi que des bagues. Ce fut une année relativement chargée mais fort intéressante et très agréable.

La deuxième année a vu la réalisation complète de Stimulus ainsi que la modification en profondeur de Reflex. Le CNES a fini par nous recontacter pour nous apprendre que notre projet ne leur semblait pas suffisamment "safe" et qu'il fallait donc rajouter un certain nombre de sécurités (une radiocommande par exemple), notamment via la création/modification de cartes élec. C'est à partir de ce moment que les ennuis ont commencé. L'année était déjà relativement avancée et effectuer des modifications aussi lourdes de l'élec n'était pas une chose facile à faire (et ce d'autant plus qu'il n'y avait que Pierre pour travailler dessus à l'époque). Malgré cela, la partie mécanique du lanceur semblait convenir. Par acquis de conscience, et pour s'assurer que le système fonctionnerait bien, un vérin a été acheté afin de simuler l'éjection de Reflex lors du vol. Après quelques petits problèmes, nous avons pu valider l'éjection à chaud ! A mes yeux il s'agissait d'une étape importante car il s'agit d'un point critique du projet. Le plus difficile lors de cette année fut de ne pas pouvoir travailler au même rythme qu'à Levallois. En effet, l'école ayant déménagé, les horaires d'ouvertures ont été revus et nous n'avions plus la possibilité de venir travailler le week-end.

A la fin de cette deuxième année, nous sommes partis au C'space avec un projet quasiment terminé au niveau mécanique. L'élec restait néanmoins une tâche encore relativement lourde à finaliser. C'est à ce moment-là que le CNES est revenu vers nous en nous disant que notre travail ne leur convenait pas car il n'était pas suffisamment "safe" pour eux... Il aurait été sympathique de leur part de nous prévenir plus tôt car l'ensemble de nos dossiers leur avait déjà été fourni depuis un certain temps. D'autant plus que réaliser une carte élec ne peut pas vraiment se faire en quelques jours. Par acquis de conscience nous avons malgré tout décidé de reporter d'un an le lancement. A cette époque cela avait effectivement semblé être la meilleure solution. Il faut aussi préciser qu'un contrôleur avait demandé à augmenter la longueur de suspente du parachute de Reflex pour s'assurer que le parachute ne se prendrait pas dans les ailerons. Cette modification a eu de lourdes conséquences car suite à cela, la fermeture complète de la séparation de Reflex n'a pas pu être effectuée de manière viable pendant près d'un an.

Suite à cette campagne avortée, nous nous sommes tous plus ou moins éparpillés à travers le monde. Malgré tout nous avons gardé notre objectif en tête : réussir ce projet ! Un certain nombre d'entre nous a pu se réunir lors de l'IAC afin de présenter notre projet à de nombreux industriels et



chercheurs du monde entier. Cela fait plaisir de voir que le projet Matriochka a intéressé (et parfois impressionné) autant de gens.

Même si nous étions tous éloignés, le travail a continué. L'élec a été complètement revue et améliorée et d'autres modifications au niveau mécanique ont été apportées tant sur Reflex que sur Stimulus. Bien qu'ayant reçu de nombreux conseils de la part de Planète Sciences, nous sommes arrivés sans être encore totalement opérationnels. Le projet étant devenu relativement connu, nous étions très attendus cette année et, dès notre arrivée nous avons été quelque peu brusqués pour passer les contrôles le plus rapidement possible. Même si l'objectif est bien évidemment de réussir le projet et de le qualifier, il ne faut pas oublier que nous venons ici sur notre temps "libre" et qu'il s'agit d'une semaine censée être un peu plus "cool" que la moyenne. Avec une telle pression ça a été loin d'être le cas. Nous avons pu envoyer rapidement Stimulus en qualification et les bonnes nouvelles ont commencé à arriver: pas de flèche, une mécanique validée, l'elec fonctionne... La semaine commençait finalement bien, jusqu'au dimanche soir où l'électrovanne de Reflex a décidé de nous indiquer qu'après six ans de bons et loyaux services elle avait décidé de prendre des vacances. Cette panne imprévue a été la première (très) mauvaise nouvelle. Une autre mauvaise nouvelle est arrivée, associée au stress induit par les attentes de Planète Sciences et du CNES, nous avons, pendant un temps, perdu l'envie de travailler. La défaillance de Reflex était la preuve même que ce projet avait déjà trop vécu et aurait effectivement dû être tiré l'année précédente.

Même si je n'ai pas envisagé d'arrêter le projet, je dois bien admettre que ça m'a tout de même mis un sacré coup au moral. Finalement nous avons pris la décision le lendemain matin de finaliser le projet et de réussir à tirer cette année. La reprise du travail a été relativement difficile mais après cette petite remise en question, nous nous sommes remis au boulot. Malheureusement, au moment où nous pensions que tout s'arrangeait l'électrovanne de Reflex n'a de nouveau pas fonctionné lors du vol simulé. C'était un nouveau coup dur qui m'a relativement démoralisé sur le moment je dois l'admettre. Malgré tout nous avons persévéré. L'électrovanne de secours a été testée et installée dans Reflex. Suite à cela (et après une batterie de tests), une nouvelle démonstration de la récupération de Reflex a été faite devant les contrôleurs qui ont ainsi validé le projet.

La mise en rampe a, en soit, été une épreuve elle aussi. Nous avons eu quelques aléas particulièrement stressants et nous avons (juste un tout petit peu) bloqué les contrôles pendant une grosse partie de la journée. Après une chronologie mémorable par sa durée, nous avons laissé notre place aux pyros. Après quelques petits soucis de mise en place (ayant notamment nécessité le retour de Bertrand sur zone pendant un certain temps), Matriochka était enfin prête pour son vol inaugural !

Ça a certainement été le moment le plus stressant de ces trois années de travail. Mais quel plaisir de voir Stimulus décoller (un peu lentement certes) ! J'avoue avoir eu un peu peur en entendant le gros boom de la séparation à chaud mais ça a été vraiment génial de voir Reflex s'envoler depuis Stimulus et faire son propre vol ! :P La première fusée à tirer une minif ! :D C'était juste magnifique, et que dire des vidéos qui sont vraiment magnifiques. Je pense que ça pourrait être quelque chose de très sympathique à présenter à l'IAC. D'ailleurs un grand merci à certains des membres de Louis Lumière pour leurs photos !

Après bien des péripéties et quelques remises en question, Matriochka a finalement volé et a montré que le travail d'équipe était capable de réaliser de grandes choses. Je suis heureux et fier d'avoir



travaillé sur ce projet avec le reste de l'équipe. C'est une expérience très enrichissante que j'ai énormément apprécié et que je serai prêt à recommencer.



🌀 Baptiste Barré

Concernant le bilan perso, je vais essayer d'être synthétique. Déjà c'était agréable de travailler avec cette équipe, j'ai appris beaucoup de choses et surtout le plus important j'ai toujours pris plaisir à aller au local pour bosser sur le projet.

Bien entendu ça a toujours été un plaisir de bosser avec vous, l'ambiance était souvent très bonne et c'est ce qui faisait la force de l'équipe : savoir travailler et savoir déconner, apprendre à se connaître et renforcer les liens avec des afterworks, faire preuve de solidarité les uns envers les autres ... Bosser avec le noyau dur de l'équipe la plupart du temps donc Bertrand, Pierre, François, Arnould et toi c'était toujours plaisant 😊

Ensuite, ce que je retiendrai de Matrio ce sera aussi tous les efforts que vous avez consenti Bertrand et toi. Quelle que soit votre position sur le globe, vous avez toujours été présents et vous avez toujours su nous motiver. J'ai conscience que tout ce que vous avez fait, tous les sacrifices, n'avoir jamais lâché ou abandonné, vous l'avez fait par passion mais vous l'avez fait aussi pour nous. Vous avez su mobiliser les troupes pour porter le projet jusqu'au bout sans jamais vous laisser arrêter par le CNES, et je tenais à vous remercier pour ça.

Je suis aussi super heureux pour l'équipe Elec' qui aura beaucoup cravaché pour tenir les exigences et les deadlines, c'était un point dur du projet, il y a eu beaucoup de moments difficiles mais ils ont jamais lâchés donc merci Pierre et Arnould :p. Et n'oublions pas l'équipe ailerons qui a fait aussi un beau travail sur les profilés qui sont finalement partis en vol !

Il faut aussi dire que l'équipe a été bien gérée, Bertrand et toi aviez des compétences techniques, managériales et humaines solides et ça s'est ressenti sur un projet de cette ampleur. Ton expérience fait aussi que tu sais comment aborder certains problèmes et surtout ça installe un sentiment de confiance au sein de l'équipe. Bertrand a été également un grand soutien dans tout ce qui touche au technique, il a apporté beaucoup de conseils de par son expérience et cherchait continuellement à nous faire progresser, tout comme toi. Avoir été dirigés par deux personnes expérimentées et surtout très sympathiques a créé un sentiment de confiance et une grande motivation au sein de l'équipe.

Le fait qu'une partie des effectifs soit toujours présente après 3 ans de projet, et que Pierre / François fassent les heures de route (et vous on ne compte plus les heures de vol :p) ça montre qu'il y avait toujours de la motivation pour travailler donc merci à vous ;)

Dernier point, c'est un peu plus perso mais tu as su me prouver qu'avec de la volonté et du travail on peut déplacer des montagnes :p. Le fait d'avoir vu qu'en plus de gérer Matrio tu as décroché un master Spé à Sup', un YGT à l'ESA, des confs à l'IAC, eh ben ça m'a prouvé que rien n'est impossible quand on se donne les moyens d'y arriver. Et ça donne un surcroît de motivation dans les moments de fatigue ou denses en charge de travail, notamment en 4A quand j'ai fini par attraper Sup' :p.

Je conclurai en disant qu'avec un peu de recul, on se rend mieux compte de la grande ambition du projet et du niveau technique élevé qu'a demandé sa réalisation. Matriochka représentait un défi déjà tenté mais encore jamais réussi par l'ESO, et le fait que ce soit le 1er vol nominal d'une bi-étage Esocienne c'est une grande fierté. Matriochka restera une aventure humaine et technique qui aura marqué ma vie étudiante.





Qu'est-ce que j'ai appris techniquement sur Matrio ? C'est à l'ESO et précisément sur Matriochka que j'ai pu continuer à approfondir mes connaissances en électronique. Il ne s'agit pas juste d'électronique mais de toutes les questions abordant la sécurité sur un lanceur, la mécanique du vol fusée et les contraintes d'intégration. Même si je n'ai pas travaillé sur la Structure ou l'Aérodynamique, les réunions d'équipe m'apprennent beaucoup sur les domaines sur lesquels je ne bosse pas.

Qu'est-ce que j'ai vu humainement sur Matrio ? C'est un régal de travailler avec des personnes motivées et passionnées par ce qu'elles font. Certains dans l'équipe sont de vrais modèles, et la réussite du projet est liée au groupe solidement constitué.

Est-ce que j'ai eu des doutes pendant le projet ? Lors de mon arrivée au sein du projet, j'étais déjà engagé au sein de l'association de robotique SiERA. J'ai eu des doutes et finalement j'ai pris le risque de me challenger en étant dans deux clubs. Je ne regrette pas le choix risqué d'avoir été dans ces clubs même si pendant longtemps j'ai délaissé l'ESO au profit de SiERA. C'est finalement lors de la dernière ligne droite (6 derniers mois) du projet, où je n'avais plus d'activité au club robot, que j'ai été le plus efficace pour Matrio, en réinvestissant des connaissances vues à SiERA notamment pour le choix de la centrale inertielle.

Bilan : Que dire si le C'Space 2017 a été parfait et personnellement au-dessus de mes attentes. Voir une fusée volée c'est beau ... Une bi-étage encore mieux ! J'espère pour moi que ce ne sera pas ma dernière fusée. Je souhaite qu'il y ait après moi de nouveaux membres 'ESO-SiERA' afin que les clubs disposent d'étudiants aux connaissances transversales.

Au début de l'aventure Matriochka, j'ai beaucoup entendu dire autour de nous : « Ça ne marchera pas, un projet en deux ans avec autant de personnes ça ne tient jamais ! » ; je suis heureux de pouvoir dire aujourd'hui que si, avec la bonne équipe, tout peut fonctionner ! Et les Matriochkins sont la bonne équipe ! Ça a toujours été un plaisir de venir travailler sur ce projet avec vous, malgré les difficultés et les déboires (et ils ont été nombreux) nous avons su rester soudés et motivés. C'est l'ambiance au sein du groupe et l'entente entre les membres de l'équipe qui nous aura permis de tenir et d'aller au bout de ce projet !

Ce « rapport d'étonnement » vient clôturer trois années de projet. Tout a commencé par l'idée folle de vouloir lancer Reflex depuis une fusee. Cela nous a conduit à rassembler une équipe qui a compté jusqu'à 19 membres ! C'est ainsi qu'une première année dédiée aux différentes études théoriques s'est déroulée sans encombre. Le fait d'avoir pu inclure ces études aux projets du cursus de l'ESTACA est un atout considérable et je conseille vivement à tous les projets de faire de même et de profiter de cette opportunité. La deuxième année a été un peu plus difficile, les exigences du CNES sont tombées et la réalisation de l'électronique s'est vue complexifiée par des exigences de sécurité difficiles à mettre en œuvre par notre équipe élec. Mais nous avons tenu bon. Les choses se sont à nouveau complexifiées lorsque le CNES nous a donné de nouvelles exigences à 4 mois de la campagne de lancement mais également à 2 mois des départs en stage. Le choix offert par le CNES (Centrale Inertielle ou Radiocommande), n'en était pas vraiment un et bloqué par le peu de temps restant nous avons dû choisir la radiocommande. Cela était pour nous un cas dégradé.

La campagne de lancement de 2016 ne fut pas un plaisir du point de vue de l'équipe élec. Nous sommes arrivés à la campagne avec une carte de mise à feu non terminée et peu facile à debugger. Nous étions toutefois confiants dans le fait d'être capables de la faire fonctionner dans la semaine. C'était sans compter l'apparition de nouvelles exigences de sécurité du CNES. Ainsi nous avons été contraints de recommencer la carte à zéro durant la campagne et étions certains de ne pas pouvoir voler cette année-là. Ce fut une déception mais également un électrochoc, qui nous a permis de nous dépasser et de nous remettre en question pour proposer une électronique fiable et propre.

Quelques mois après cette campagne avortée, nous avons eu l'opportunité de présenter notre projet à l'IAC à Guadalajara. Cette expérience fut enrichissante et nous aura permis de montrer que des étudiants peuvent également faire des projets intéressants et innovants.

La troisième année a été la plus difficile. Le groupe s'est retrouvé éclaté par les départs en semestre à l'étranger ou en immersion. Toutefois cela ne nous a pas empêché de continuer à travailler et à améliorer notre fusée. L'équipe élec, composée d'Arnould et moi-même, étant restée à SQY, il a été possible de travailler à fond sur une nouvelle architecture de l'électronique. Il a été décidé d'utiliser une centrale inertielle, ce qui n'avait pu être fait l'année précédente et un arduino. Le choix a également été fait d'imposer nos décisions au CNES. Mises à part le nombre de sécurités, conforme à ce que réclamait le CNES, nous avons décidé de faire ce qui nous semblait le plus logique plutôt que de suivre aveuglément des exigences qui nous paraissaient aberrantes et sorties de nulle part. Cela nous a permis de faire une électronique propre en laquelle nous avons toute confiance et pour laquelle nous étions capables de justifier chacun des choix faits. Il a également été décidé de ne rien changer à cette architecture. Nous préférons nous voir refuser le vol plutôt que de voler dans un cas dégradé de notre point de vue. Cette décision n'a pas été facile à prendre mais elle a été



collégiale et mûrement réfléchi. C'est dans cette optique et avec une fusée entièrement fonctionnelle que nous sommes arrivés au C'Space 2017.

Cette semaine de campagne a été l'un des moments les plus intenses dont je me souviens. C'est paradoxalement l'un de mes meilleurs et l'un de mes pires souvenirs. Suite à la perte de l'électrovanne de Reflex le dimanche soir et à l'arrivée de nouvelles exigences côté CNES, le groupe a failli craquer. Nous ne sommes pas passés loin de baisser définitivement les bras et d'abandonner le projet. Nous avons longuement discuté dimanche soir mais c'est lundi matin que nous avons décidé sans grande conviction et avec peu de motivation de continuer à travailler. Les problèmes se sont vus réglés les uns après les autres et c'est avec une équipe n'y croyant presque plus que Matriochka a finalement été qualifiée. La mise en rampe nous a mené également son lot de frayeurs et de problèmes mais malgré le stress, c'est calmement que nous avons mené la chronologie à terme. Après quelques soucis de mise en place des propulsifs, le vol était fin prêt.

C'est là qu'ont débuté les quelques minutes parmi les plus stressantes que j'ai connues. Depuis l'érection de la rampe jusqu'à la séparation de Reflex et Stimulus. Je pense que ce n'est qu'au moment où le vol s'est terminé que nous avons pris conscience que ça y est, nous l'avons fait !

Finalement cette campagne a été une magnifique réussite qui n'a été possible que grâce au travail de TOUS les membres du projet. J'en garde toutefois un souvenir un peu amer car je sais que nous sommes passés très près de laisser tout tomber et de partir. Toutefois je pense qu'il ne faut pas garder rancune de ces problèmes et j'espère que la réunion que nous avons pu avoir en fin de semaine avec des membres de PlaSci et la commission technique du CNES permettra de faire évoluer les choses et d'éviter à d'autres projets les problèmes de communication que nous avons pu avoir.

Je tiens à faire mes remerciements à Armelle pour avoir été le moteur de ce projet et nous avoir poussés à donner de nous-même pour parvenir à ce résultat. Je remercie également Arnould sans qui j'aurais peut être abandonné devant la tâche semblant parfois insurmontable qu'était l'élec.

Je conclurai en disant ceci : A tous ceux qui n'ont pas cru en nous, je propose de lire ce rapport de regarder le travail effectué et les résultats obtenus. Voyez qu'avec une équipe motivée, tout est possible ! A tous les autres un immense merci pour votre aide, votre soutien et vos encouragements !



☞ Bertrand Bocquet

Quel **ascenseur émotionnel** nous avons pris ! Et combien j'ai grandi à travers ces trois années sur Matriochka, et combien ont grandi les bizus qui hier faisaient leurs gammes sur *Miss Paramount*, bon sang, c'était il y a quatre ans déjà... Reflex a eu son vol propulsé, dont l'âge symbolise l'évolution de l'associe ces dernières années pour parvenir à ce résultat. **J'espère que nous avons été exemplaires, que les jeunes comprendront que c'est la passion et l'humilité qui nous ont guidés et pas une ambition mal placée... J'espère que nos anciens sont fiers de nous, de notre patience et de notre acharnement.** Effacés, envolés, les doutes, les difficultés avec le CNES... Le vol a été magnifique et je ne pensais pas qu'une telle absence de regrets soit possible. **Un fonctionnement aussi proche de nos attentes ne tient pas à la baraka ou au hasard, c'est la preuve de notre maîtrise si chèrement payée.** C'est le signe que l'équipe a fonctionné, que l'ambiance qui régnait entre nous n'était pas que celle d'une bande de potes mais aussi celle d'une bande de potes à la hauteur de leurs rêves. Notre réussite est aussi celle de nos prédécesseurs dont nous avons étudié les traces, et heureusement ! Car malgré ce travail nous avons bien souvent tâtonné... C'est donc un maelström de souvenirs intenses qui remplirait un roman que je vais garder dans ma tête partout où j'irai ! Ce fut aussi un peu une école de la vie, une école de mon futur métier, une étape décisive dans ma construction personnelle, de ma façon de travailler et d'interagir avec les autres... Un grand merci à vous qui avez bossé sur Matrio, au début, au milieu, à la fin ; Merci à toi Armelle, irremplaçable capitaine du navire ! Merci car si c'est l'équipe qui fait le projet, c'est le capitaine qui fait l'équipe. La meilleure partie du projet, c'est tout de même nous tous car sans vouloir nous jeter des fleurs, je sais que si nous étions trois ans plus jeunes, nous recommencerions, et nous ferions encore mieux !!



🌀 Armelle Frenea-Schmidt

Dans ma ville natale, une stèle dit "Si il était à refaire, je referai ce chemin".

Merci au poète Aragon dont la phrase guide ma vie et est à l'image de mon sentiment sur ce projet.

Matriochka, un nom qui résonne depuis trois ans dans ma tête... en démarrant le projet nous avons pour objectif de nous mesurer à un véritable challenge, celui de réussir une bi-étage active. Quelques équipes esociennes s'y étaient déjà frottées et nous savions quel travail et quel investissement cela avait été.

Matriochka est certes issue de notre fougue et de la créativité de chacun grâce aux "idées foireuses" mais le projet ne repose pas moins sur les expériences de nos prédécesseurs, merci à l'équipe de *Courage* et aux anciens qui nous ont apporté leur soutien !

L'équipe de Matriochka s'est développée tant en termes de compétences que d'état d'esprit et je tiens à remercier :

- la dream team alias Pierre M, Valentin et Corentin pour le système des ailerons, votre travail à donner encore plus de caractère au projet et nous avons été fiers de voir voler Matriochka avec vos ailerons profilés,
- François pour ne plus faire de coupes en biseaux ! Belle amélioration depuis tes débuts sur *Miss Paramount* et un investissement qui a vraiment grandi en 3 ans,
- Baptiste, notre ti'Suisse qui a toujours su apporter un équilibre à l'équipe, tu as aussi été mon "bras droit" alors que j'étais à SUPAERO et je salue ton effort de communication car il a toujours été aisé de te contacter et de suivre l'équipe malgré la distance. Et même si je t'en veux encore d'avoir percée Reflex en 4mm... je salue ton investissement et ton travail ^^
- Pierre qui n'a jamais lâché ! Pourtant le défi était de taille, la réussite a pris du temps... Pourtant 3 ans plus tard on y est arrivé alors merci pour ta ténacité car beaucoup à ta place auraient abandonné,
- Arnould qui a apporté ces connaissances, ton investissement a vraiment donné une autre dimension au projet, un énorme travail réalisé cette dernière année avec Pierre, Bravo !
- à tous ceux qui ont bossé sur Matriochka : Justine, Bastien pour leur travail, Bichet qui a eu son diplôme de limeur professionnel, Gaultier pour le logo et à tous ceux qui ont participé côté ESTACA sur les projets du cursus,
- Enfin, Bertrand, lui aussi avait un challenge dans le challenge, celui de faire enfin voler Reflex, la fusée de ses débuts à l'ESO et là encore que d'améliorations ! Il a toujours été aisé de te faire confiance car tu es un perfectionniste, tu sais prendre ton temps et réaliser de belles pièces. Je me suis souvent battue pour que tu passes la seconde mais tu as toujours su réagir. Cela a été un plaisir de bosser avec toi.

Enfin, il n'a pas toujours été facile de travailler à distance mais ce fut un apprentissage, la gestion de projet aussi. J'ai appris techniquement indubitablement mais aussi humainement. Je suis quelqu'un d'exigent et d'énergique, parfois trop franche mais je pense avoir mis de l'eau dans mon vin. Travailler plus en souplesse, faire preuve de psychologie et faire confiance. **Il y avait vraiment de l'harmonie dans cette équipe et ça se sent sur la qualité de réalisation du projet.**



Nous avons toujours été humbles d'où notre transparence car nous mesurons l'enjeu de notre projet. J'aurai souhaité travailler plus en coopération avec le CNES et non me battre pour avoir des réponses... l'énergie et le temps perdu dans ces tentatives ont rendu parfois le projet frustrant... et injuste car nous avons TOUT mis en œuvre pour être compris et suivi. Je ne souhaite pourtant pas sombrer dans l'aigreur bien au contraire car nous avons prouvé grâce au résultat que notre état d'esprit était le bon. Comme nous nous sommes beaucoup remis en question, j'espère que la commission technique du CNES en fera autant pour assurer aux amateurs de fusées un vrai suivi et une constante motivation. Nous avons parfois même pensé face à cette attitude de silence et de refus du CNES que ces derniers ne voulaient pas nous voir voler... trop de risques ? Où est donc l'innovation, l'enthousiasme qui nous anime en tant que passionnés du spatial ? La place de l'innovation est au cœur de l'ingénierie au service du spatial mais aussi de la France. Le CNES en tant qu'agence a un rôle fondamental, elle doit nous soutenir et non nous frustrer surtout auprès de la jeune génération car le C'Space est là pour ça, **oser, tester, réaliser, réussir mais aussi savoir échouer car le plus important c'est de comprendre pour progresser**. Notre monde marche ainsi et notre pays doit sans cesse se tenir au niveau, certes nous avons une place importante dans le spatial mais ce n'est pas immuable ! Au contraire tout peut toujours s'effondrer et c'est pour cela que l'éducation existe, donner l'envie et apprendre...

Enfin un immense merci personnel à tous les bénévoles de Planète Sciences !

