



Département des fusées à eau

Dossier de projet du DFE 2016/2017



Remerciements	3
Avant-propos	4
Génèse du projet.....	5
Objectifs du DFE à l'origine du projet.....	6
Constitution de l'équipe et lancement du projet.....	7
Constitution du lanceur	8
Le réservoir	8
Connexion réservoir/pad	9
Structure étage avionique	9
Système d'éjection.....	10
Séquenceur.....	10
Stabilité/Trajectographie	10
Pad de lancement	13
Structure du pad et système de déclenchement.....	13
Adaptation pour une rampe raille.....	14
Organisation d'une campagne de lancement DFE	15
Définition des règles de sécurités	15
Définition de la zone de lancement.....	15
Résumé des lancements effectués avec le DFE	17
Lancement pour Matriochka	17
Lancements pour Frégate.....	19
Conseils pour l'avenir	22
Maintenance et amélioration de la base de lancement.....	22
Maintenance et amélioration de la fusée La Freca	22
Dimensionnement et fabrication d'une nouvelle fusée à eau.....	23
Création d'un cahier des charges.....	24
Annexes.....	25

Remerciements

Nous souhaitons tout d'abord remercier Quentin BOZONNET et son entreprise ENTOMOVIA pour son soutien financier à la base de ce projet ainsi que sa participation à la communication du projet.

De même nous tenons à remercier l'ESTACA, principal partenaire de la ESO qui met à notre disposition un soutien technique important au travers de M. MANGIN ainsi que M. FAUX, ainsi qu'un soutien matériel et financier chaque année.

Enfin, nous remercions Planète Sciences et le CNES pour leur soutien technique et logistique qui nous a permis de lancer une dernière fois pour la saison 2016/2017 notre fusée lors de la campagne du C'Space et en particulier Pierre SERIN pour le prêt d'un altimètre pour ce vol. Mention spéciale à Julien BOLDINI et Romain BORE pour le soutien physique lors de la mise sous pression.

Avant-propos

Ce document s'adresse bien entendu aux membres actuels et à venir du DFE et de l'ESO mais aussi à tous les amateurs de fusées à eau pour essayer d'apporter notre expérience dans ce domaine très passionnant.

Il présente l'architecture de notre première fusée La Freca, notre base de lancement, ainsi que les solutions techniques que nous avons mis en place pour les problèmes rencontrés. De plus, un résumé des différents vols et ce que cela nous a apporté ainsi qu'une liste de conseils pour les futurs étudiants du DFE sont présents afin d'aider à la passation au sein du DFE. Enfin, vous trouverez en annexe la dernière chronologie utilisé par le DFE ainsi que quelques photos souvenirs.

Ce n'est que notre première année de travail sur ce thème, nous sommes ouverts à tous contacts de la part d'autres amateurs ou de personnes s'intéressant au sujet afin de pouvoir discuter et échanger sur ce sujet.

Nous nous sommes beaucoup inspirés de travaux menés notamment par AirCommandRocket afin de trouver des solutions à nos problèmes. Nous les en remercions par conséquent ainsi que tous les autres groupes qui expérimentent la fusée à eau et partagent leurs travaux.

Génèse du projet

En Août 2016, le projet naît d'un accord entre Entomovia et un membre de l'ESO visant à réaliser une fusée à eau (qui a l'avantage de pouvoir être lancée hors de la campagne de lancement du C'Space) afin de capturer des vidéos durant le vol pour promouvoir sa communication. Du côté du membre de l'ESO, l'intérêt était de s'essayer aux fusées à eau haute pression tout en se confrontant à une contrainte de temps imposante puisque la fusée devait être lancée avant fin septembre. En plus de Tom BOZONNET qui a réalisé l'accord, Jean-Loup GATE et Marie BELVEYRE furent choisis pour mener à bien ce projet qui n'entraîne alors pas dans le cadre de l'ESO. Suite à une demande auprès du conseil d'administration, il a été autorisé à l'équipe de travailler au sein du local associatif (les trois membres étant de l'ESO). Nicolas OUDART s'ajoutera à l'équipe au cours du mois afin d'apporter son soutien pour la partie électronique. Suite à un mois de travail intensif, la fusée est prête à prendre son envol au centre spatial Castel Martinois.

Elle est prévue pour voler à 20bars et atteindre une altitude de 300m. La bouteille de plongée qui nous aurait permis de mettre sous pression la fusée ne pouvant être adaptée aux raccords du pad de lancement. Il est décidé d'utiliser un compresseur pour les premiers bars puis une pompe à vélo pour essayer de monter le plus haut possible. La fusée partira finalement à 9bars (dans l'impossibilité de monter plus haut avec notre pompe) et en précipitation suite à des fuites. Elle atteindra selon les estimations environ 100m d'apogée.

En plus de fuites observées durant la phase de mise sous pression, la fusée effectuera un vol balistique dû à un manque de batterie. La chronologie était alors d'environ 2h depuis l'assemblage du système de séparation. Suite à cet échec, beaucoup de conclusions ont pu être tirées et de nombreux problèmes ont pu être mis en relief :

- Fuites au niveau de la connexion fusée/rampe à partir de 5bars
- Inexpérience dans l'organisation de lancement qui s'est reflétée dans une chronologie très longue et laborieuse
- Moyen de mise sous pression inadapté
- Pas assez de temps pour faire les tests (malgré un vol simulé nominale)

Cependant, de bonnes choses sont aussi ressorties de ce projet tels que la structure de la fusée, le pad de lancement et le système de déclenchement qui sont opérationnels ainsi que la mise en place d'un nouveau système de déjection parachute transversale via fil chauffant.

C'est dans ce contexte que le Département des Fusées à Eau a pris forme.

Objectifs du DFE à l'origine du projet

Le projet a été proposé à l'ESO par Jean-Loup GATÉ et Tom BOZONNET avec plusieurs objectifs clés pour l'année. En voici la liste de ceux-ci telle quelle dans le dossier de présentation de projet :

- Fournir une plateforme de test en vol
- Etablir un cahier des charges pour fusée à eau
- Etablir un cahier des charges lancement pour fusée à eau
- Ecrire une procédure d'avant vol
- Rendre modulable les lanceurs existants et continuer de proposer de nouveaux lanceurs (feuilles de calcul)
- Développer les outils de dimensionnement des nouveaux lanceurs (feuilles de calcul)
- Effectuer les qualifications des fusées avant vols
- Organiser le lancement des fusées.

De plus, des cas d'utilisation de l'ensemble fusée/pad avait été émis :

« Premier cas : [1.1] Vous souhaitez tester un système spécial. Si le système est adaptable à un réservoir déjà existant, il suffira de créer un étage comprenant l'expérience à adapter sur le réservoir. Dans le cas contraire [1.2], il faudra développer un nouveau lanceur. Ce développement devra être validé par le bureau et le département des fusées à eau conjointement.

Second cas : [2] Vous souhaitez réaliser une fusée à eau de vous-même auquel cas vous pourrez disposer de la rampe (projet personnel).

Un lancement pourrait être réalisé un jour de JPO ou autre. »

L'idée globale était de fournir à l'ESO une meilleure maîtrise de ce qu'est un lancement de fusée principalement au niveau procédure tout en apportant un aspect qualité par la possibilité de tester un nouveau système et vérifier sa fiabilité via une fusée à eau avant de l'intégrer sur une fusée expérimentale (ou mini-fusée). De plus, nous souhaitions conserver le côté divertissement en permettant que ceux souhaitant réaliser une fusée à eau pour le plaisir puissent avoir accès au pad de lancement ainsi qu'à l'organisation du DFE pour réaliser le lancement.

Constitution de l'équipe et lancement du projet

Suite à l'échec du premier lancement, l'équipe du DFE fut constituée et comprenait Alice DE MONTECLER, Etienne PERRIN, Maieul GIRARD, Guillaume COMBI, Vincent DEMAISON, Nicolas DELIRY et Loanne MONNIN et Tom BOZONNET (chef de projet). De plus, Jean-Loup GATE restera membre à temps partiel (pour pomper lors des lancements notamment).

Le lanceur qui aurait dû servir de base de travail pour le DFE étant inutilisable en l'état, il fût décidé avec les membres de remettre en service la fusée et de réaliser un premier lancement avec des procédures semblables à celle du premier lancement. Les membres du projet hormis le chef de projet n'ayant que peu d'expérience dans les lancements, ceci permettra aussi de leur apporter le nécessaire pour penser et rédiger par la suite des procédures viables.

Il fût décidé de séparer l'équipe en 3 groupes : Remise en état mécanique de la fusée et amélioration de la connexion fusée/pad, fabrication de la carte électronique et de l'étage avionique et enfin optimisation de la rampe de lancement.

Cette première partie de reconstruction de la fusée devait durer d'environ 3 mois pour un premier lancement prévu fin décembre début janvier. Il faudra 8 mois de travail afin de remettre le lanceur en état et le premier vol de la fusée dans sa nouvelle version n'aura lieu qu'en Mai.

Constitution du lanceur

Le réservoir

Le réservoir de la fusée à eau correspond à son moteur en fusée classique. Dans une fusée à eau, il représente la majeure partie de la fusée. Voici les caractéristiques de notre réservoir :

- Diamètre extérieur de 102mm
- Longueur d'environ 2mètres (bouchons compris)
- Comprend au culot une connexion rapide type Gardena avec le pad
- Capacité totale de 15,2L
- Masse (avec ailerons et jupette compris) de 1720g
- Diamètre de la tuyère : 17mm

Le réservoir est composé de plusieurs ensembles collés les uns aux autres. Un autre type de fixation ne peut être envisagé car il ne peut être percé pour conserver son étanchéité et sa tenue mécanique. La première pièce maîtresse est un tube de 2m en fibre de carbone moulé sur un tube en PVC diamètre 100 puis doublé d'une couche de résine afin d'assurer l'étanchéité. A celui-ci vient s'ajouter un moule hémisphérique en plastique léger collé sur un morceau de tube PVC afin de centrer le bouchon dans le réservoir. Le tout est collé et le moule recouvert de fibre de carbone en patchworking (technique consistant à assembler des morceaux de tissus de carbone afin de bien prendre la forme du moule). Le moule reste donc à jamais dans le réservoir. La même technique sera utilisée pour le support de la tuyère qui sera détaillé plus bas. Une jupette en carbone fabriquée sur un tube PVC diamètre 100 est centrée et collée sur le bouchon du réservoir. Afin d'en assurer la rigidité, 3 tours de fibre de carbone sont ajoutés afin de maintenir le réservoir et la jupette unis. Lors des premières versions de la fusée, cette jupette sera la structure externe de l'étage avionique. Nous détaillerons par la suite cette partie. Enfin, 3 ailerons en bois de peuplier fixés sur 4 équerres (afin d'augmenter la surface collable) courbés pour prendre la forme du tube sont collés à l'époxy à l'endroit souhaité pour assurer la stabilité.



Réservoir de la fusée avec ailerons assemblée et peau de l'étage avionique (en blanc)

Connexion réservoir/pad

Cette partie fût la plus complexe niveau mécanique du projet. La première idée fût d'intégrer un raccord rapide Gardena en métal directement dans le moule en plastique servant à la forme du bouchon et ensuite de rigidifier le tout à l'aide de fibre de carbone. Cependant, dû aux fortes pressions en jeu et au peu de prise que le raccord laisse au carbone, la tuyère a fini par se décrocher lors de tests statiques. Il a donc été décidé de dimensionner un moule en aluminium hémisphérique comportant en son centre un filetage adapté pour le raccord rapide. Ceci permet aussi notamment de s'affranchir des problèmes de centrages de la tuyère. Le moule en aluminium est collé de manière similaire au bouchon (via un centrage en diamètre 100 entrant dans le réservoir) avant d'être fibré avec le reste du réservoir afin d'assurer le maintien mécanique. Enfin la tuyère est vissée/collée dans le moule. Un oubli dans la conception du moule aura été d'ajouter une butée à la tuyère afin de pouvoir ajouter un joint et éviter de coller le raccord (ce qui rend très difficile son remplacement en cas d'usure).

Structure étage avionique

Dans sa première version, l'étage avionique de la fusée à eau n'est pas prévu pour être modulable. La jupette fixée sur le réservoir est donc aussi la structure porteuse de l'étage avionique. L'étage avionique est quant à lui constitué d'un assemblage de 2 treillis en aluminium 7.5mm et de bagues horizontales en bois (autant que nécessaire pour venir fixer cartes élec, batteries, caméras ...). Le tout est fixé dans la jupette via des vis qui reprennent les treillis en aluminium.

Par la suite, devant la nécessité de rendre modulable cet étage, il fût décidé de couper la jupette proche du bouchon (en laissant 5cm de jupette environ) et d'y monter une bague en aluminium avec une jupette supérieure crénelée (permettant de venir y fixer au choix un étage en structure interne ou un étage en structure externe). L'étage avionique et le reste de jupette est conservé car toujours adaptable sur cette bague et servira au tout premier lancement de la fusée après rénovation.



Etage avionique lors du premier vol pour Matriochka

Système d'éjection

Afin de garantir un poids minimum (donnée très importante dans les fusées à eau), il a été décidé d'utiliser une séparation transversale par fil chauffant permettant de ranger le parachute dans l'ogive de la fusée et ainsi gagner de la place tout en limitant le poids. L'ogive est perforée sur chaque bord afin d'y faire passer un fil de pêche haute résistance qui passe à l'intérieur d'une bague de poussé/centrage qui permet de centrer l'ogive sur le haut de la fusée et qui sert de support au ressort afin d'éjecter le tout. Le fil passe dans un système « corde de guitare » fabriqué à l'aide de deux équerres et un profilé rond perforé verticalement et traversé par deux vis horizontalement (l'une permettant de régler le serrage et la suivant de bloquer la rotation du profilé lorsqu'elle est serrée) qui permet de tendre fortement le fil. Un fil résistif vient alors entourer le fil de pêche en deux points (à l'entrée et à la sortie du système corde de guitare) afin de briser le fil au moment souhaité et de libérer l'ogive.

Suite à l'observation d'échecs au sol de déclenchement dû au fait que le fil résistif se rompait en ne cassant qu'une des deux parties du fil de pêche et empêchant donc l'ogive de se libérer, ce système sera simplifié en ajoutant une boucle dans le système corde de guitare et en faisant passer le fil de l'ogive dans cette boucle. La boucle permet de serrer le fil de l'ogive et le fil peut alors être cassé en un seul point. Ce système sera utilisé pour le vol servant au test d'une centrale inertielle pour la fusée Matriochka.

Séquenceur

L'idée première pour faire face au manque de connaissance de l'équipe sur la trajectographie d'une fusée à eau était d'utiliser un baromètre BMP180 combiné avec un Arduino nano afin de réaliser le déclenchement du parachute par détection d'apogée et non par temporisation. Une fenêtre temporelle en fonction de notre estimation de la trajectographie de vol sera ajoutée au code utilisé par sécurité. Malheureusement et bien que le système fût fonctionnel lors des tests statiques, des ouvertures intempestives successives et imprévisible en rampe ont démontré l'instabilité de notre carte. Suite à l'insuccès de trouver la cause de l'instabilité (test d'endurance de 2h effectué sans problème tout allumé mais ouverture parachute au bout de 5min en rampe) sans doute dû à un faux contact, il fût décidé de remplacer ce système par un séquenceur analogique traditionnellement utilisé à l'ESO réputé pour sa stabilité. Depuis hormis un faux contact qui a mené au report de quelques heures un lancement, le système n'a pas failli. L'Arduino nano aussi suspecté pour son instabilité sera prohibé par la suite du projet pour une utilisation dans un système de récupération.

Stabilité/Trajectographie

Sans doute le point le plus complexe du projet, seuls les lancements successifs et les données récupérés lors des vols nous ont permis d'avancer dans ce domaine.

Concernant la trajectographie, nous nous sommes penchés sur deux logiciels différents : D'un côté le StabTraj qui est utilisé pour le C'Space pour les minif et fusex et

de l'autre un logiciel sur internet : « <http://polyplex.org/rockets/simulation/> » qui est conseillé dans le dossier de réalisation de fusée à eau proposé par Planète Sciences et qui est utilisé par AirCommandRocket, fameux constructeur de fusée à eau haute pression. Le logiciel sur internet ne donne des informations que sur la poussée et la trajectographie pour un lancement à 90 degrés. Nous avons effectué aussi à part une feuille de calcul Excel permettant de connaître la poussée au fil du temps de notre réservoir afin d'entrer les données dans le StabTraj et avoir une estimation de la trajectoire.

Une différence majeure est que le logiciel proposé par polyplex prend en compte le tube du pad de lancement qui sert de piston et permet une poussée gratuite le long du tube (nous détaillerons ce point dans la partie pad de lancement). Nous avons donc essayé d'utiliser les données du logiciel afin de comparer les résultats de trajectographie entre le logiciel internet et le StabTraj (en prenant donc en compte dans les deux cas l'effet piston du tube). Une fois de plus, nous obtenons des résultats très différents malgré que les valeurs de poussées soient identiques. Le StabTraj nous indique une altitude maximale d'environ 70m alors que le logiciel de polyplex nous calcul le double ! Nous n'avons pour l'instant pas déterminé ce qui explique une si grande différence. Cependant, par expérimentation et grâce aux précieuses valeurs récupérées à l'aide de la centrale inertielle testée pour Matriochka, nous avons pu déterminer que le logiciel sur internet était plus adapté pour les fusées à eau. De nombreux lancements seront cependant nécessaire pour ajuster les paramètres d'entrée du logiciel.

Concernant la stabilité, le StabTraj reste tout à fait opérationnel. Cependant un gros problème nous est apparu directement. Comment stabiliser une fusée qui subit au cours du vol et déplacement de son centre de masse aussi important ? Il ne faut pas oublier que nous mettons environ 4.5L d'eau pour une fusée qui pèse environ 3kg en fonction des configurations. Il est donc impossible selon les critères du StabTraj de stabiliser notre fusée tant la marge statique est importante. La première idée qui nous ait venu afin de régler ce problème fut de stabiliser la partie de la longue du vol. Dans le cas de la fusée à eau, le temps pour le réservoir de se vider est d'environ 0.5s, nous avons donc stabiliser la phase balistique qui dure environ 5s de plus (temps pour une pression de 12bars et un poids de 2900g). Ce fut la configuration du tout premier vol (balistique) où nous avons pu observer via les caméras que l'instabilité était très importante avant de se restabiliser rapidement. Pour les seconds vols après de nombreuses recherches dans la littérature des fusées à eau, nous avons pu observer que toutes les fusées à eau haute pression avait tendance à avoir les ailerons très bas, ce qui implique une bonne stabilité en phase de poussée mais une surstabilisé en phase balistique. Nous avons donc essayé cette configuration et les vols suivants ont semblé nettement plus stable par observation. Ceci implique cependant qu'il faut lancer notre fusée à eau par des jours de vents faibles pour éviter tout problèmes.



STABILITO

Stabilité de fusée à ailerons

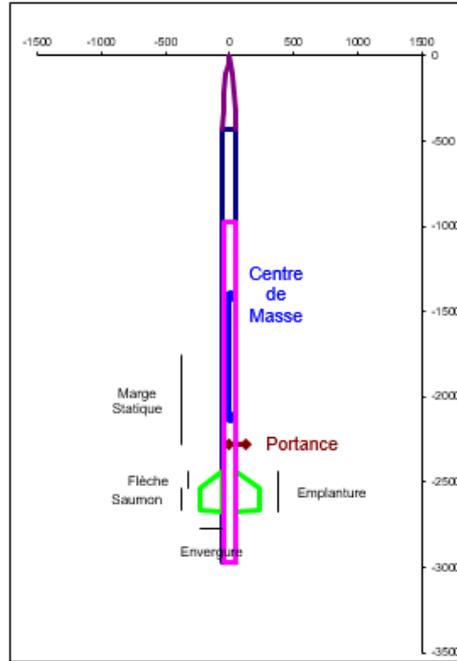
Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	La Freca
Club	ESO
Type	Fusée à eau
Masse	3490 g sans propu
Centre de Masse	1400 mm sans propu
Longueur totale	2970 mm

Propulseur	
Type	H2O 22,6L 6034g 20bar
Position du bas	2970 mm

Coiffe	
Forme	Ogivale (pointue)
Hauteur	435 mm
Diamètre	106 mm

Ailerons	
Mono-empennage,	
Emplanture 'm'	230 mm
Saumon 'n'	120 mm
Flèche 'p'	100 mm
Envergure 'E'	175 mm
Epaisseur	5 mm
Nombre	3
Position du bas	2670 mm



04/09/2017	Min	Résultats	Max
Finesse	1	28,0	100
Portance	15	18,5	30
Marge Stat.	1 D	1,53 D	8,29 D
Couple	15	28,4	153,7
XCp		2279 mm	
MS /L		5% L	30% L

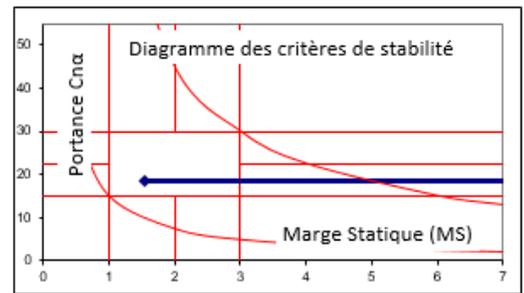
SURSTABLE

Langue : Français

Fusée mono-diamètre,

	Propu plein	Propu vide	Sans propu
Masse propu	4,3 kg	0 kg	-
CdM propu	1728 mm	1080 mm	-
Masse fusée	7,79 kg	3,49 kg	3,49 kg
CdM fusée	2116 mm	1400 mm	1400 mm

	XCp	Cnα
Coiffe	203 mm	2,0
Ailerons	2530 mm	16,5



Checksum : propu NOK

v3.0

Commentaire libre :

Stab traj de la fusée à eau pour son vol au C'Space pour Frégate

Cette configuration de lanceur nous permet de placer plus de 2kg de charge utile à partir de la bague intermédiaire tout en conservant des données de vols intéressantes pour les expériences à embarquer (Tester résistances de composants tels que les GPS ou centrales inertielles à l'accélérations par exemple). La fusée pourrait même servir de lance CanSat en développant un système de lancement de CanSat adapté (voir le système Dark Shadow de AirCommandRocket).

Pad de lancement

Structure du pad et système de déclenchement

La structure du pad de lancement vient du tout premier vol de la fusée. Bien que des améliorations au niveau du tube ont été tentées, peu de choses ont changé depuis.

Le pad est un assemblage de profilés d'aluminium formant une structure permettant de maintenir les raccords et le tube de lancement vertical pour le vol ainsi que le système de déclenchement. Il est fixé et stabilisé au sol à l'aide de sardines. Un jeu de raccord permet de passer d'une prise Gardena mâle (sur laquelle vient se fixer la prise Gardena femelle de la fusée) à un raccord rapide compresseur standard. Un tuyau d'air de 10m y est alors raccordé pour ensuite se fixer sur la pompe qui est actuellement utilisé (pompe permettant de monter à 20.6bars pour de faibles capacités, dans notre cas nous sommes pour l'instant arrêter à 14.5bars). Enfin, un tube constitué d'un assemblage de profilé tubulaire (le dernier étant un profilé plastique de 1900mm diamètre 15.5mm) est fixé dans le raccord mâle. La fusée vient s'enfoncer sur ce tube qui joue le rôle de piston (gain de poussée avec très peu de perte en eau et pression) et de guide s'il n'y a pas de rampe pouvant remplir ce rôle.

Au niveau de la connexion, un profil monté sur un axe permet d'appuyer sur une rondelle située entre la prise mâle et femelle qui force désenclenche la prise rapide et permet de libérer la fusée. Le profilé tourne sur son axe via l'action d'une personne sur la ficelle retenant le système (ficelle de 10m pour l'instant mais qui pourrait être rallongé par sécurité. Enfin, depuis peu a été ajouté par sécurité un « fer à cheval » qui se place sur la fusée juste au-dessus du raccord rapide et qui empêche celui-ci de se désenclencher tout seul (ou si on tire par mégarde sur la corde de déclenchement du système de libération). Une autre ficelle fixée au fer à cheval est a tiré juste avant le système de déclenchement pour enlever la sécurité.

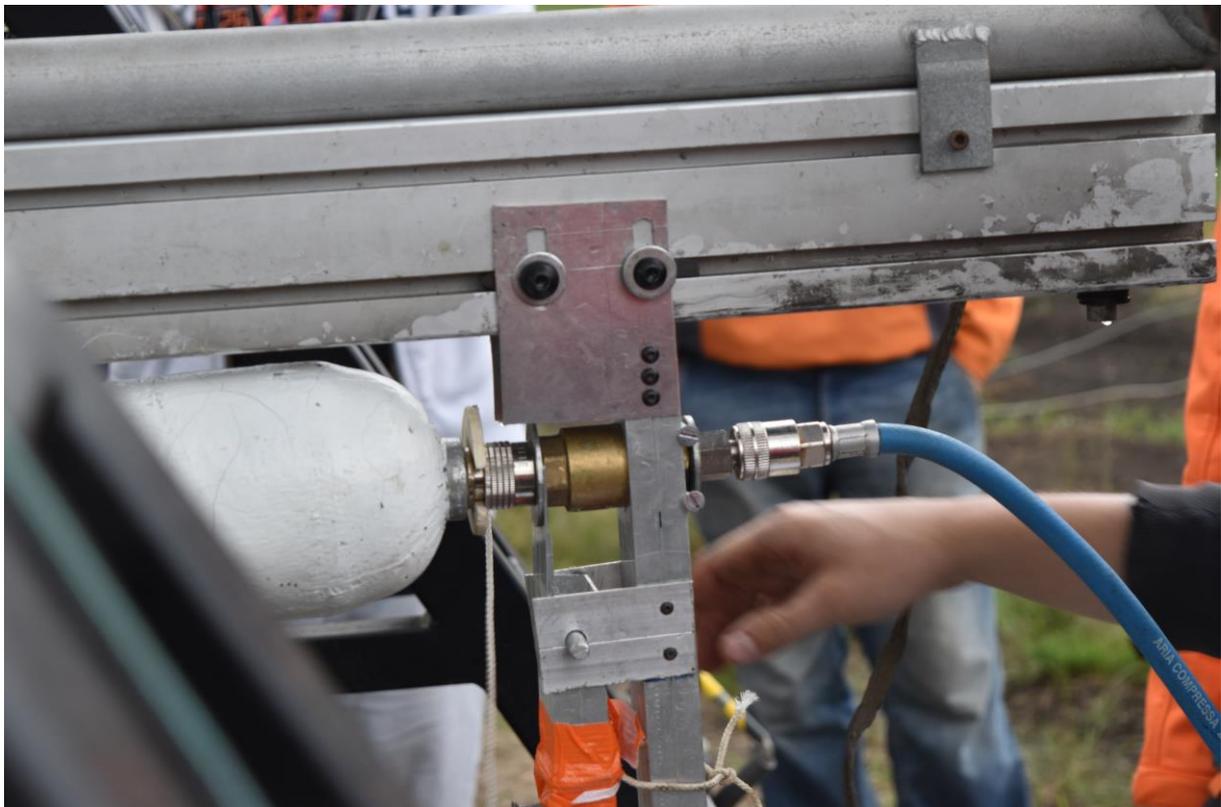


Fixation de la rampe à la fusée pendant le vol pour Matriochka

Adaptation pour une rampe raille

Depuis le dernier C'Space, le pad de lancement a été modifié afin de pouvoir s'adapter sur une rampe raille de type profilé Bosch 40x40. Pour cela, la structure qui sert de support au sol est retirée et deux plaques fixées dans le pad permettent de faire le raccord avec le rail du profilé Bosch (par l'intermédiaire de pin dans la rampe). Cette avancée fut nécessaire afin de pouvoir lancer la fusée au C'Space. Il serait une bonne chose de conserver cette évolution et de toujours lancer nos fusées depuis un rail Bosch afin d'assurer le guidage dans les premiers mètres plus efficacement qu'avec le tube seul. Ceci entraîne quelques frottements qui font perdre un peu d'altitude (124m atteint contre 145 attendu lors du vol avec la rampe) mais sécurise grandement le lancement notamment par le fait que l'on puisse ajouter les plaques en aluminium le long du rail afin de cacher la fusée des personnes présentes pour la mise sous pression du réservoir et qu'en cas d'explosion rien ne puisse leur arriver (10m étant très proche pour les pressions en jeu).

La fusée étant alors guidée par la tube du pad et par la rampe, quelques frottements supplémentaires sont ajoutés. Cependant le gain de stabilité au décollage et la sécurité ne sont pas négligeables.



Fixation du pad à la rampe raille du CNES lors du lancement au C'Space pour Frégate

Organisation d'une campagne de lancement DFE

Définition des règles de sécurités

Afin d'assurer la sécurité pour les personnes assistant au lancement, nous avons utilisé les mêmes règles de sécurité que celles du C'Space soit :

- Toute personne du public présente au lancement doit être dans la zone publique déterminée par le DFE.
- Toute personne présente sur le site du lancement doit être debout, les yeux fixés sur la fusée dès le moment où les membres du DFE annoncent la zone rouge.
- Silence total lors du lancement de la fusée jusqu'à ce que la fusée touche le sol.

Définition de la zone de lancement

Afin de définir la zone de lancement, nous avons tout d'abord cherché un terrain loin des aéroports et de toutes constructions (poteau électrique, maison etc), suffisamment grand pour accueillir le vol de notre fusée et qui soit sur une zone où les drones ont le droit de voler jusqu'à 150 mètres (nous n'avions alors pas encore de réponse de la part de la DSAC sur notre lancement).

Nous avons ensuite estimé la portée balistique à 45 degrés de la fusée dans les conditions de vols prévus et reporté un cercle de rayon de cette valeur centré sur le point de lancement prévu sur Google Earth. Nous avons trouvé un terrain parfait appartenant à un habitant qui nous a prêté avec sympathie pour l'occasion son champ.

Ensuite, nous avons défini le cône d'orientation que nous visons en installant la rampe avec un angle de 80 degrés. Nous avons placé le point d'apogée théorique et défini la zone de chute probable sous parachute de la fusée (en jaune). Enfin, nous avons placé la zone publique (en bleu) en dehors de la zone de retombée de la fusée dans le pire cas possible (et sur le côté car il n'était pas possible de la placer à l'opposé de l'angle de lancement car il y avait un champ cultivé) en prenant un peu de marges au cas où. Au final cette marge fut réduite par la suite.



Google Earth avec les zones définies pour le lancement pour Matriochka

Le prochain objectif serait de réaliser la même étude en prenant en utilisant la méthode du CNES pour définir ses zones de sauvegardes et développer un Excel pour cela.

Résumé des lancements effectués avec le DFE

Lancement pour Matriochka

Le lancement pour Matriochka fut le premier réalisé par le DFE depuis la reconstruction de la fusée. L'objectif était d'embarquer dans l'étage avionique préexistant de la fusée à eau un module expérimentale composé d'une centrale inertielle (3 gyroscopes, 3 accéléromètres, 3 magnétomètres) réalisé par l'équipe électronique de la fusée bi-étage Matriochka afin de vérifier sa stabilité en vol (notamment soumis aux accélérations propres à une fusée expérimentale). Pour l'occasion, un étage supplémentaire a été rajouté dans la structure électronique de la fusée à eau afin de pouvoir accueillir le module. Le module étant très léger, cela impliquait très peu de changements au niveau du centre de masse de la fusée.

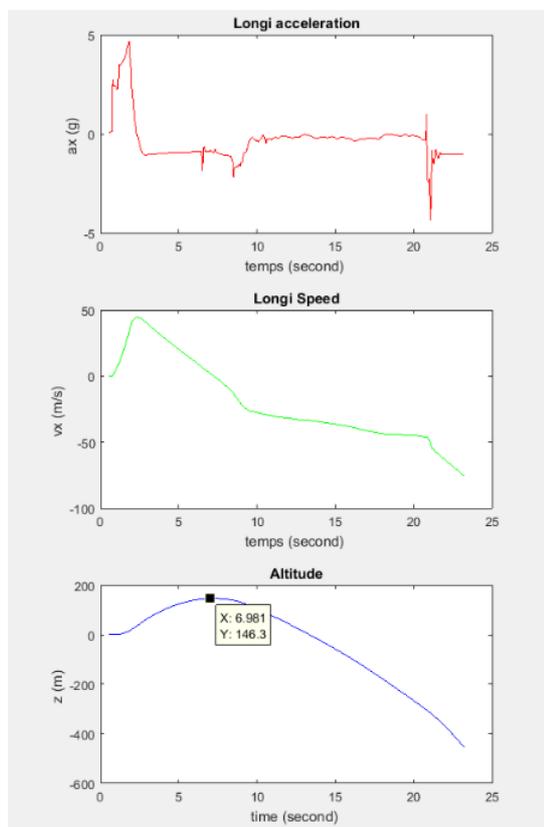
Tout d'abord, afin de pouvoir récupérer l'information de l'arrachage du jack au décollage et ainsi pouvoir traiter avec plus de justesse les données par la suite, il avait été décidé d'ajouter une connexion entre la prise jack et l'Arduino Matriochka. De même, les masses avaient été reliés afin de les équilibrer. Ce montage fut la cause d'ouverture intempestive du parachute lors des nombreux tests et tentatives de lancements effectuées (l'Arduino nano servant de microcontrôleur pour l'ouverture parachute recevait le signal d'ouverture bien que le jack soit toujours branché dès l'allumage dès l'ensemble des cartes). Il a donc été décidé de supprimer toutes les liaisons entre les deux cartes afin d'éviter ce problème rapidement.

Par la suite, l'électronique semblait fonctionner lors des différents tests et vols simulés effectués. Une amélioration au niveau de la mise en place du fil de pêche a été effectuée en rajoutant une boucle au niveau du système de serrage du fil, ce qui permettait de casser la partie retenant l'ogive au niveau de la boucle qui serrait le tout. Ainsi, il suffisait de casser un seul fil au lieu de deux ce qui rendait le système beaucoup plus fonctionnel (Parfois, le fil résistif se cassait lors du choc de la section d'un des deux fils de pêche, sans casser le second ce qui empêchait l'ouverture).

Afin de pouvoir lancer assez proche de l'ESTACA, nous avons rencontré un agriculteur aficionados de fusées à eau qui nous a prêté un champ à Cernay-La-Ville suffisamment grand afin de réaliser nos lancements en sécurité.

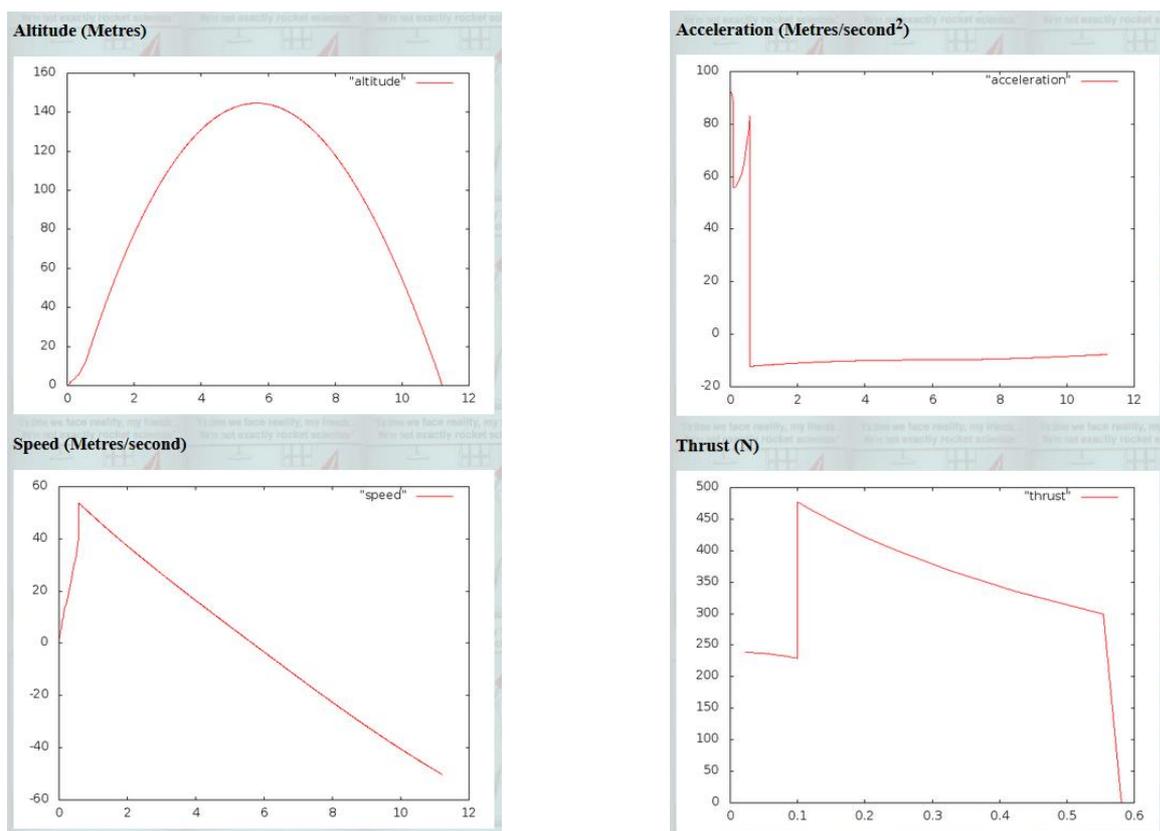
De nombreuses tentatives de lancement ont eu lieu avec cette configuration mais l'électronique présentait une instabilité récurrente mais non cyclique. Le parachute s'ouvrait lors de la mise en place de la fusée en rampe (parfois 7 secondes après l'allumage de la minuterie, parfois 30 minutes après). Après avoir tenté de refaire certaines soudures qui auraient pu présenter un faux contact, un test de 2h électronique allumé a été effectué afin de vérifier qu'aucun problème ne survienne. Le lendemain du test, la tentative de lancement fut de nouveau un échec dû au même problème.

N'ayant plus beaucoup de temps pour tester le module de Matriochka, il a été décidé de remplacer le séquenceur numérique avec baromètre par un séquenceur analogique plus classique et plus fiable. Aucun problème avec cette nouvelle configuration, le vol fût nominal et les données récupérées par le module de Matriochka concluante. Nous avons alors pu comparer les données des simulations avec les données réelles de vol :



Données d'accélération, vitesse et altitude de la centrale inertielle de Matriochka

Nous pouvons comparer ces données avec celles de la simulation internet suivantes :



Données d'altitude, accélération, vitesse et poussée simulées

Hormis les pics d'accélération données par la simulation qui n'apparaissent pas lors de la mesure, les résultats sont sensiblement les mêmes pour la phase ascendante de la fusée ce qui valide la simulation via ce logiciel (et invalide donc la simulation via StabTraj). Le logiciel internet ne prenant pas en compte le parachute mais seulement une phase balistique, les données suite aux 7 premières secondes ne sont donc pas comparables. Quelques différences peuvent s'expliquer par le manque de maîtrise de paramètres d'entrée du logiciel tels que le facteur de pertes de la tuyère. Cependant, ces imprécisions ne sont pas critiques pour le vol ou la sauvegarde à la vue des marges de sécurité considérées.

Lancements pour Frégate

Suite à la demande du CNES de vérifier en vol la fiabilité du système de lancement du parachute de la fusée Frégate (système de fil cassant par résistances chauffantes), il fût décidé d'un lancement sur la fusée à eau. L'expérience à embarquer pour la fusée étant tout un étage de récupération, il fût décidé de garder seulement l'ogive et le parachute. L'ensemble de l'étage avionique fût donc construit par l'équipe de Frégate.

L'étage de Frégate est monté sur une base en structure porteuse, ainsi nous avons pu vérifier la bonne adaptation de notre bague modulaire (à jupette crénelée). Les créneaux ne simplifient pas le montage de la structure sur la bague (gêne pour passer un tournevis) cependant cela est possible. Un premier vol fût effectué à Cernay La ville en utilisant l'ogive classique du DFE. Aucun capteur ni caméra n'était intégré dans la fusée, cependant, pour vérifier le comportement de la fusée au décollage avec notre rampe, 3 caméras filmaient avec un angle différent le décollage.



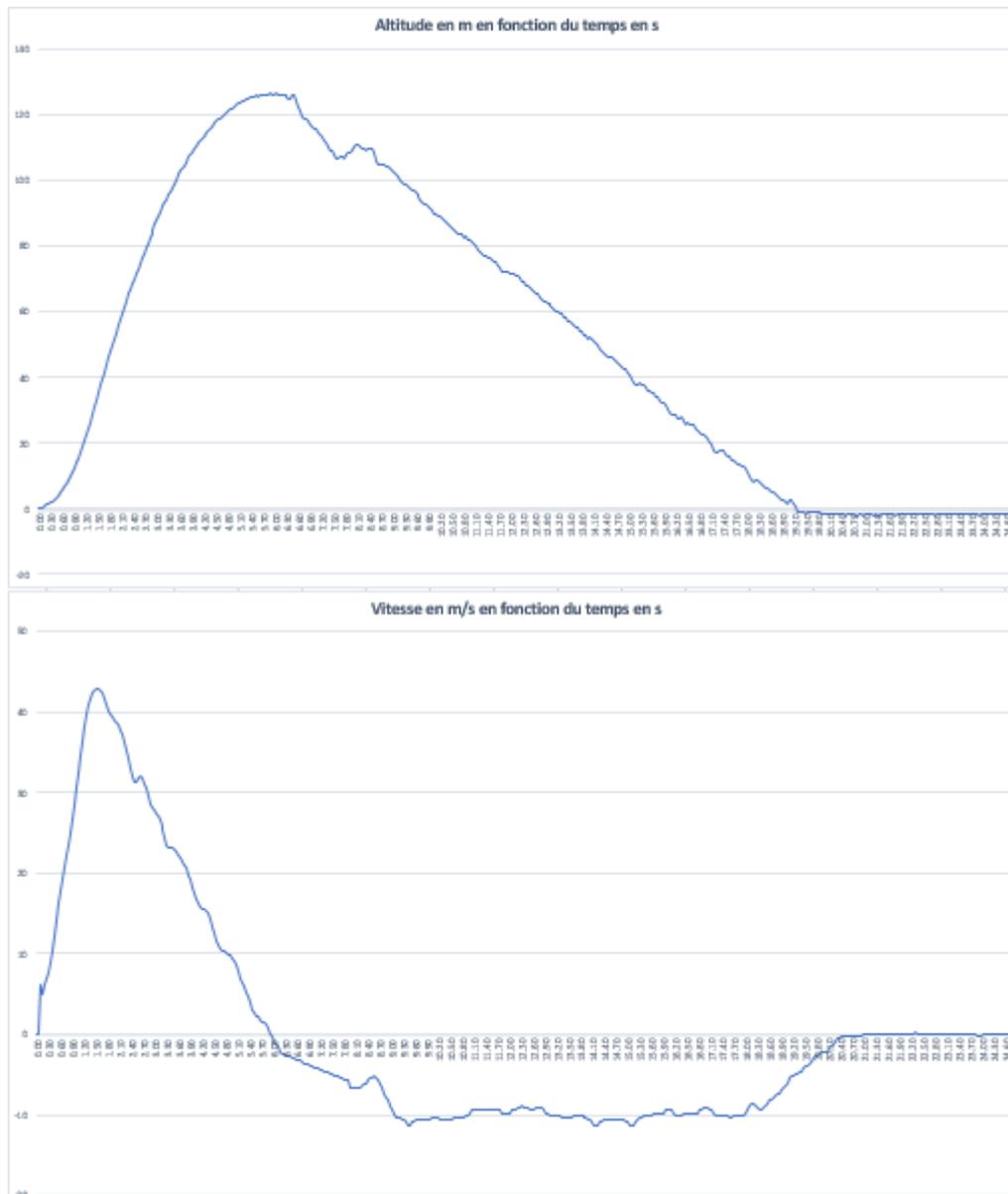
Étage Frégate (partie noir et jaune)

Nous avons rempli le réservoir avec 13,5 bars et 4,3 litres d'eau de sorte d'atteindre les 150 mètres autorisés par la DSAC pour ce vol. Le vol fût nominal en tout point et le lanceur récupéré intégralement intact. La chronologie utilisé pour ce vol fût la même que celle pour Matriochka hormis la partie montage de l'étage avionique qui fût rédigé par l'équipe même de Frégate (environ 1h30 de chronologie au total). La définition de la zone de lancement fût la même que pour Matriochka (même terrain, quasiment la même trajectoire simulé).



La Freca à l'atterrissage après le vol pour Frégate

Un second vol eut lieu avec la configuration architectural afin de montrer la stabilité du système d'ouverture du parachute au CNES, seule l'ogive fût changée pour l'occasion. Ce fût le vol le plus chargé du DFE cette année. Pour compenser le poids (3490g pour 2,97 mètres), la pression mise dans le réservoir fût de 14,5bars. Un altimètre du rocketry challenge prêté par le CNES fut installé dans la fusée afin de récupérer les données de vols et pouvoir les confronter de nouveau à notre simulation.



Données de vols altimètre lors du lancement au C'Space pour Frégate

Les données semblent correspondre de nouveau à notre simulation si l'on prend en compte les frottements ajoutés par l'utilisation de la rampe et le problème d'angle entre le tube du pad et la rampe (Différence d'une dizaine de m/s et d'une vingtaine de mètres d'altitude avec les valeurs théorique).

Ce vol nous aura donc permis de valider le système d'éjection de parachute de la fusée Frégate, mais aussi d'apporter de nouvelles données précieuses pour venir confirmer la théorie des fusées à eau.

Conseils pour l'avenir

Le projet du DFE est de perdurer dans le temps pour continuer à offrir à l'ESO cette possibilité d'avoir une plateforme de test en vol utilisable à volonté pour un cout moindre et au moment souhaité ainsi que de former les membres de l'ESO à la gestion d'une campagne de lancement et de se préparer mieux sur les lancements pour le C'Space. Dans cet objectif-là, je souhaite laisser quelques potentielles idées à développer pour les années à venir pour les successeurs du DFE. Cette liste n'est pas exhaustive bien que certaines choses soient indispensables afin de pouvoir relancer de nouveau.

Maintenance et amélioration de la base de lancement

Un grand soin doit être apporté au pad de lancement qui a tendance à souffrir de l'utilisation. De plus, de nombreuses améliorations sont nécessaires pour pouvoir expérimenter des fusées avec plus de pressions et plus de sécurité :

- En cas de non-retour de la rampe de l'ESO, ajouter un profilé Bosch 40*40 de 2m au pad et conserver le pad en version adapté pour rampe rail. Ajouter pieds à la rampe pour pouvoir l'orienter à 80 degrés (voir rampe AirCommandRocket)
- Changement des raccords qui ont souffert, ajout d'un raccord pour bouteille de plongée (détendeur)
- Changement du tube de 10m pour 20bars par un tube de 40mètres minimum et 40bars minimum (avec raccord bouteille de plongée)
- Trouver partenariat ou acheter bouteille de plongée
- Fabriquer une boîte électronique avec servo-moteur pour contrôler le lancement à longue distance sans corde (conserver le fer à cheval avec une corde potentiellement)

Maintenance et amélioration de la fusée La Freca

Actuellement, la fusée est dans une configuration pour rampe rail (patins fixés). La fusée n'ayant pas subi de grands chocs lors de son précédent vol, le réservoir est toujours fonctionnel. Il reste cependant quelques améliorations possibles :

- Refaire une bague intermédiaire avec les bonnes dimensions (les créneaux ont été coupés pour le dernier vol afin de gagner du temps dans le montage)
- Dimensionner et fabriquer un nouvel étage avionique propre au DFE en définissant un nouveau cahier des charges (Dimension de la charge utile embarquable, masse etc) plus performant

- Réaliser de nouveaux tests de pression afin de qualifier la fusée pour des vols à plus haute pression
- Recommencer les lancements avec les expériences de l'ESO
- Fabriquer un parachute en banderole (pattern dans le dossier de passation du DFE)
- Fabriquer un altimètre/centrale inertielle standard qui pourra servir afin d'obtenir de nouvelles données pour tous les vols et confirmer les données théoriques (cette carte pourra servir aux autres projets de l'ESO)
- Voler à 20bars et faire péter les 300m d'altitude !

Dimensionnement et fabrication d'une nouvelle fusée à eau

La fusée La Freca possède de nombreux avantages dans son architecture comme un diamètre assez large qui peut permettre d'embarquer la majorité des expériences qui peuvent être réalisées à l'ESO. Cependant, le fait que ce soit une fusée à eau peut transformer cela en désavantages : Pression plus forte sur un diamètre important, plus de traînée, plus de poids ... qui sont des données essentielles pour les fusées à eau. Ainsi, il peut être envisagé la fabrication d'une nouvelle fusée, en évitant les problèmes dont nous avons pris conscience lors de la réalisation de la fusée La Freca, qui pourrait être orienté plutôt pour de la performance technique. Le choix du type de fusée est complètement libre (bi étage ? Record mono étage ? Fusée avec boosters ? ...). Pour cela, quelques conseils qui pourront être utiles :

- Ne pas dépasser le diamètre 63mm interne en cas de fusée pour de la performance. L'important dans les fusées à eau est de pouvoir mettre un maximum de pression dans le réservoir pour atteindre de haute altitude. De plus, cela réduit nettement le poids de la fusée.
- Etudier une nouvelle manière de travailler le réservoir (ajout d'un liner au moment de réaliser le tube pour éviter les problèmes de fuites). Ce liner pourrait être un film plastique, un tube très fin en plexiglass (très léger) ou encore une couche très fine de fibre de verre (la fibre utilisée pour l'étage frégate) avec une grosse couche de résine. Pour déterminer le nombre de couche de carbones nécessaire, prendre en compte la formule $\text{Pression} \times \text{Rayon} / \text{épaisseur} = \text{contrainte de traction}$ en ajoutant un facteur de sécurité du fait du manque de connaissance sur le travail de la fibre de carbone ESO.
- Utiliser une tuyère d'environ 20mm de diamètre. En effet, plus la tuyère est grande, plus la poussée est intense ce qui peut paraître intéressant, mais il faut aussi prendre en compte que cela réduit le temps de poussée et augmente l'effort au niveau du raccord avec la rampe.

- Réaliser un Dark Shadow système pour le parachute (voir AirCommandRocket ou le projet de fusées CTIC-UNI au Pérou qui utilise le même système avec électro-aimants)
- Réaliser un altimètre autonome type rocketry challenge, très léger, efficace et facile d'intégration.
- Réaliser des expériences de microgravité (aller voir YouTube AirCommandRocket pour exemple)
- Développer un système pour bi-étage (attention, complexe à priori)
- Ne pas limiter ses propres idées, nous n'en somme qu'aux prémices des fusées à eau et de l'univers de possibilités qu'elles offrent.

Création d'un cahier des charges

Ceci est un objectif de base de la création du DFE. En effet, il serait intéressant d'ajouter à la littérature un cahier des charges en français qui permettrait aux amateurs de fusées à eau débutant d'avoir une base pour commencer. Il faudra pour cela se baser sur les cahiers des charges minif et fusex du CNES mais aussi du cahier des charges utilisé pour les records du monde d'altitude. Il pourrait être différencier les minif à eau (type bouteille de coca) et les fusex à eau (biétage, haute pression, etc).

Chronologie
Département des
Fusées à Eau

Annotations :

ZL : Zone de Lancement (comprend l'ensemble du terrain dont AP, ZP, ZO, ...)

AP : Atelier de Préparation (équivalent tente club)

ZP : Zone Publique

ZO : Zone d'opération (équivalent tente Jupiter)

PT : Pas de Tire

Index du personnel :

Index	Rôle	Personne
1	DDO	Tom
2	Sécu/Opérateur AP	CNES
3	Loc/Opérateur AP	CNES
4	Outilman	X
5	Horlogeman/Opérateur	CNES
6	Sécu air-sol/Opérateur	CNES
7	Opérateur	Jean-Loup
8	Opérateur	X
9	Opérateur	X
10	Caméraman	X

DECOMPTE	DUREE	LIEU	INDEX	OPERATION	VALIDATION
J-7	8h	AP		Délimiter zone de lancement Déterminer position de la rampe Déterminer position zone publique Déterminer position zone opération Déterminer position localisation si besoin Attribution des rôles définitif pour le jour J Obtention des autorisations de vol	CNES
J-1	1h	AP		Préparer le matériel pour le lancement	
J-1	10min	AP		Réaliser test étanchéité fusée	
J-1	30min	AP		Réaliser test tenu sous pression	
J-1	1h	AP		Réaliser vol simulé	
J-1	4h	AP		Charger batteries Li-Po Charger Batterie caméra	
1 :24 :30	6min30	AP		Changer téflon de tous les raccords	
1 :18 :00	1min	AP		Placer la carte résistance dans l'étage	
1 :17 :00	30 sec	AP		Couper 30 cm de fil et accrocher à la case para	
1 :16.30	3 min	AP		Plier le parachute	
1 :13 :30	1 min	AP		Placer le parachute dans la case para	
1 :12 :30	30 sec	AP		Insérer la case para dans le tube para	
1 :12 :00	1 min	AP		Comprimer le ressort en tournant l'axe de tension	
1 :11 :00	30 sec	AP		Insérer la goupille	
1 :10 :30	30 sec	AP		Brancher la carte résistance	
1 :10 :00	1 min	AP		Brancher les coupe-circuits	
1 :09 :00	30 sec	AP		Vérifier les connexions dominos	
1 :08:30	2 min	ZL		Plaquer les résistances contre le fil	
1 :08 :00	30sec	AP		Connecter altimètre	
1 :06 :30	1min30	AP		Fixer les carénages	
1 :04 :30	10min	AP→PT		Départ de l'Atelier de préparation pour le pas de tir	
0 :54 :30	1min	PT		Arrivée sur pas de tir	

				Déposer matériel Respirer un grand coup Tout va bien se passer	
0 :53 :30	30sec	PT		Insérer étage récup sur bague poussée	
0 :53 :00	2min	PT		Insérer 4 vis M3 maintien étage	
0 :51 :00	2min	PT		Fixer sans serrer pad fusée à eau dans rampe patin	
0 :49 :00	2min	PT		Insertion fusée VIDE dans rampe	
0 :47 :00	1min 15sec	PT		Ajuster hauteur pad	
0 :45 :45	2min	PT		Serrer comme un âne mort le pad	
0 :43 :45	2min	PT		Ressortir fusée de la rampe	
0 :41 :45	30sec	PT		Insérer prise jack puis passer l'interrupteur elec en position ON	
0 :41 :15	1min	PT		Vérification LED verte allumée Attendre vérification déclenchement intempestif	
0 :40 :15	5min	PT		Pencher fusée vers le bas et insérer 4.3 L d'eau	
0 :35 :15	30sec	PT		Redresser avec amour puis insérer fusée dans la rampe patin (attention à ne pas perdre d'eau)	
0 :34 :45	30sec	PT		Fixer la prise rapide	
0 :34 :15	15sec	PT		Installer fer à cheval	
0 :34 :00	20sec	PT		Vérifier l'absence de fuite rampe et fusée	
0 :33 :40	30sec	PT		Fixer cordon jack à la rampe	
00 :33 :10	2min	PT		Vérifier inclinaison fusée environ 80°	
0 :31 :10	10sec	PT		Raccorder tuyau air pompe à la rampe	
0 :31 :00	30sec	PT		Vérifier le bon branchement des toutes les prises	
0 :30 :30	30sec	PT→ZO ZL		Quitter le pas de tir pour la zone d'opération, bien dérouler tuyau et câble	
0 :30 :00	15min	ZO		Commencer gonflage Montée en pression douce	
0 :15 :00	30sec			Prévenir Jupiter pression à 8 bars	
0 :02 :00	10sec	ZO→ZP		Prévenir Jupiter lancement dans 2 min (12 bars)	

0 :01 :50	50sec	ZP		Prévenir zone public lancement dans 2 min	CNES
0 :01 :00	30sec	ZL		Vérification obstacle potentiel ciel	CNES
0 :00 :30	20sec	ZO→ZP		Prévenir PC publique lancement dans 30s	CNES
0 :00 :10	10sec	ZO&ZP		Procéder au décompte final	CNES
0 :00 :00	0	ZO		Déclencher système lancement Tout d'abord fil raccordé au fer à cheval puis corde déclenchement pad	



