

Redshift, un projet de fusée expérimentale supersonique

Guillaume Araignou^{*,1} and Daniel Shaghoolian^{†,1}

^{*}Leader du projet et responsable système global, [†]Responsable systèmes embarqués, électrotechnique et télécommunications

RÉSUMÉ Redshift est une fusée expérimentale étudiante d'environ 2 mètres de haut et propulsée à vitesse supersonique (environ Mach 1 à 1.2).

Les objectifs de la fusée sont pour l'équipe de développer et de se familiariser avec diverses technologies encore non testées dans leurs fusées. Premièrement, la structure de la fusée sera réalisée en plusieurs tronçons. Ensuite, un système de déploiement de "gridfins" par hydraulique, qui aura pour fonction première de ralentir la fusée, et de se familiariser avec les systèmes hydrauliques. Le système de récupération sera une variante des compartiments parachute à ouverture latérale, rendue plus fiable pour des régimes de vol supersoniques.

Enfin, la fusée pourrait emporter une charge utile commerciale, un gyroscope spatialisé pour des satellites. Une entreprise singapourienne serait intéressée pour tester le comportement de son gyroscope dans une fusée.

MOT-CLÉS

Fusée
Supersonique
Amateur
Étudiant

UN PROJET D'AÉROIPSA

Depuis plus de 25 ans, AéroIpsa, association étudiante de l'école d'ingénieurs IPSA, conçoit et réalise des projets fonctionnels en rapport avec le secteur aérospatial. Elle rassemble des étudiants autour de projets, principalement de fusées, mais aussi de Cansats (charges utiles largables d'un litre). Cela leur permet d'appliquer les notions apprises durant leur cursus au profit d'un projet d'envergure et d'acquérir ainsi les compétences nécessaires dans leur futur métier d'ingénieur.

L'association a également pour objectif de transmettre des valeurs de partage de connaissances et d'idées entre étudiants quelle que soit leur promotion ou leurs compétences. Que ce soit en Mécanique ou en Electronique, les nouveaux membres sont soutenus à chaque instant par leurs aînés, au travers de cours ou d'aide plus personnalisée leur permettant de maîtriser les logiciels de conceptions tels que CATIA ou KiCad et d'aboutir à un produit de qualité.

Le but final pour chaque étudiant est de participer au C'Space, la campagne de lancements nationale pour y mettre en oeuvre son projet. Durant une semaine, chaque groupe prépare

et présente son travail afin de passer les qualifications et être autorisé à mettre en rampe et lancer sa fusée ou déployer sa Cansat.

L'association compte en moyenne une quarantaine de membres et réalise environ 5 fusées par an. Elle est située au sein de l'école d'ingénieurs IPSA à Ivry-sur-Seine, et dispose d'un local dans lequel la majorité des moyens de conception et fabrication y sont installés.



L'ÉQUIPE

L'équipe est composée d'ingénieurs diplômés et d'étudiants de l'IPSA membres d'AéroIPSA.

- Guillaume Araignon :
Ingénieur spécialisé en Espace, Lanceurs et Satellites. De formation principalement mécanique et spatiale, son travail porte ainsi sur la gestion du projet et l'ingénierie globale du système.
- Yannick Tedeschi :
Ingénieur spécialisé en Cellules Aéronautiques, Mécanique et Structures. Il est responsable du système de récupération et du dialogue avec l'entreprise singapourienne.
- Daniel Shaghoolian :
Ingénieur spécialisé en systèmes embarqués et télécommunications. Il est responsable des systèmes embarqués, électronique et télécommunications du projet.
- Timothée Grosbois-Favreau :
Ingénieur spécialisé en Cellules Aéronautiques, Mécanique et Structures. Il est responsable de l'ensemble de l'architecture mécanique du projet.
- Chloé Cadeac :
Étudiante en bachelor à l'IPSA, elle assiste principalement Yannick dans la réalisation du système de récupération.
- Julien Chevalier :
Étudiant en bachelor, s'occupe de la réalisation du système de "gridfins" et d'intégration des ailerons et du moteur.
- Alexis Metelski :
Étudiant en bachelor, il assiste Daniel en électronique de puissance, notamment le système d'allumage moteur.
- Julien Perouelle :
Étudiant en 3 année à l'IPSA, il assiste Timothée dans la partie mécanique du projet.

LA STRUCTURE MÉCANIQUE

Les deux principaux ennemis dans la conception mécanique sont les efforts exercés sur la fusée et la masse, il faut que celles-ci soient correctement dimensionnées afin de nous permettre d'atteindre la vitesse supersonique sans rupture de la structure.

Les matériaux les plus privilégiés pour leur rapport résistance/masse seront, pour les pièces précises, l'aluminium et pour les pièces le permettant, des fibres de verre/carbone et époxy.

La structure est de type peau porteuse. C'est-à-dire que le fuselage de la fusée porte la structure interne et reprend les efforts d'accélération (dû à la masse de la structure et des composants),

de poussée et aérodynamiques. La spécificité de la structure cette année est que le fuselage n'est pas constitué d'une seule pièce, mais de plusieurs tronçons, afin de se familiariser avec ce genre de structure pour de futures fusées au gabarit plus imposant dont le tube ne pourra pas être réalisé en une pièce.

La fusée se compose donc de plusieurs blocs avec chacun leur fonction.

La structure de chaque bloc se compose globalement d'un ensemble de bagues sur lequel repose les différents composants.

Les bagues sont finalement vissées par leur tranche au fuselage en afin de permettre la reprise des efforts par celui-ci.

Le bloc moteur et ailerons

L'objectif de ce bloc est d'assurer la stabilité par le biais des ailerons, d'assurer leur résistance et d'intégrer le propulseur ainsi que d'assurer la reprise de la force de poussée. Cette reprise se fait par le haut du moteur.

La coiffe

La coiffe sert à intégrer principalement les batteries ou l'antenne d'émission.

Sa forme est optimisée de façon à minimiser la traînée en fonction de son diamètre et sa longueur. Sa longueur est d'ailleurs déterminée en fonction de son diamètre de base (le diamètre du tube) pour également minimiser la traînée, à savoir suffisamment longue pour diminuer la traînée due à sa forme, sans pour autant augmenter significativement la traînée due à la friction de l'air. La coiffe est fixée sur une bague d'interface avec le tube.

LE SYSTÈME DE "GRIDFINS"



Les gridfins, ailettes en grille en français, sont un type de gouverne le plus souvent déployable permettant de contrôler et ralentir une fusée ou un missile, et peuvent fonctionner dans des températures et vitesses plus larges qu'un système de gouverne déployable classique. On les voit ci-dessus, à gauche sur une fusée russe Soyuz et à droite sur une MOAB, bombe guidée américaine.

L'idée pour Redshift est de réaliser un système permettant de déployer 3 ailettes en grille, afin de valider un système d'actionneur hydraulique ou pneumatique, pour des projets futurs plus imposants et qui demanderaient une puissance mécanique importante.

LE SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION

Le principal inconvénient d'un système classique d'ouverture parachute par le côté est de s'ouvrir très facilement de façon intempestive durant la phase la plus rapide du vol. Dans ce cas le parachute est violemment extrait de son compartiment puis arraché de la fusée et celle-ci, sans parachute, s'écrase au sol à très haute vitesse. L'idée ici pour ce nouveau système est d'en faire une variante plus fiable aux hautes vitesses.

Le système classique est composé d'un compartiment en forme de V, et d'une porte latérale maintenue en place par un crochet fixe, et un crochet mobile, qui libère la porte en se dégageant. Afin de minimiser la probabilité que la porte se libère à cause des forces aérodynamiques, celle-ci sera solidaire du compartiment, qui sera éjecté de la fusée au moment de l'ouverture du parachute et libérera celui-ci.

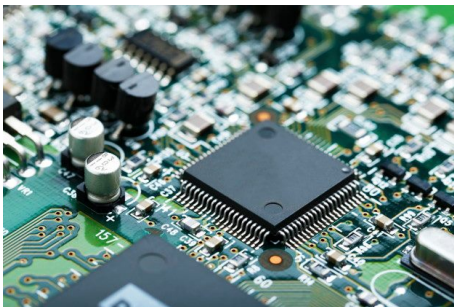
LE TEST DU GYROSCOPE

L'idée de l'entreprise singapourienne est de réaliser des essais de mesure et de comportement de leur produit dans notre fusée, afin d'avoir une vision réaliste du comportement lors d'un lancement de satellite.

Dans le cadre de ce test, des mesures de vibrations, accélérations et de données gyroscopiques seront réalisés.

NOUVELLE ARCHITECTURE ÉLECTRONIQUE

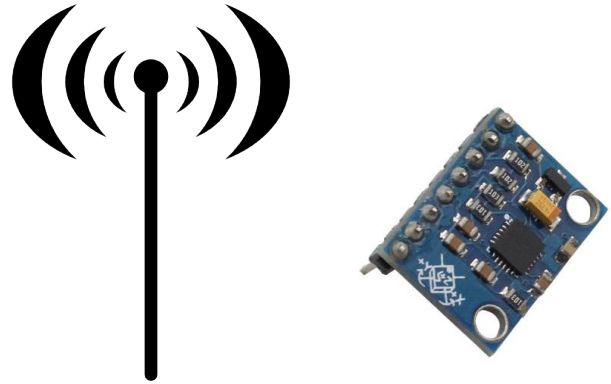
Afin de pouvoir contrôler et mesurer le vol de la fusée, il faudra intégrer un système électronique. Ce système est découpé en plusieurs fonctions correspondant aux sous-systèmes de la fusée.



L'électronique peut être découpée de la façon suivante :

- Le système hydraulique : Pour déployer les ailettes en grille, il faudra contrôler les différents éléments du système hydraulique (pompes, pistons, servovalves, etc...) à travers des cartes contenant de l'électronique de puissance.
- La télécommunication : La télécommunication est un aspect essentiel pour la récupération de la fusée, elle permet de

transmettre les données GPS. De plus, le système nous transmet des informations grâce à la mesure des différents paramètres environnementaux avant et pendant comme par exemple : L'accélération, la température, la pression, etc...



- Le casier parachute : Afin d'analyser les contraintes mécaniques sur le compartiment, des capteurs de forces et vibrations seront disposés dans celui-ci, dans le but d'en dimensionner pour des fusées plus rapides. De plus, cette électronique servira d'abord à verrouiller puis déclencher l'éjection du casier, selon un minuteur temporel lancé au moment du décollage par le débranchement d'un cordon reliant la rampe et la fusée.
- L'alimentation : Elle sera gérée par l'utilisation de batteries Ni-MH (basse consommation et moins dangereux) et Li-Po (application d'électronique de puissance). En distinguant les différentes applications et nécessités de puissance dans la fusée, nous l'optimiser et la rendre plus sûre, en réduisant le nombre de batteries qui peuvent, dans le cas des batteries Li-Po, être dangereuses.



LA STABILITÉ ET PRÉVISION DE TRAJECTOIRE

Afin d'assurer la sécurité du vol, nous devons analyser la stabilité de la fusée ainsi que sa trajectoire prévue, ces deux analyses se font de façon séparée.

La stabilité

La stabilité permet à la fusée de rester sur sa trajectoire et ce malgré des perturbations aérodynamiques qu'elle pourrait rencontrer.

La forme de la coiffe, la longueur du tube et en particulier la forme des ailerons doivent être conçus de façon à respecter ces propriétés.

La forme et placement des ailerons doit en particulier respecter une certaine marge.

Si leur surface est trop faible ou bien s'ils sont trop proches du centre de masse, leur effet stabilisateur n'est pas suffisamment important pour être efficace ; à l'inverse s'ils sont trop éloignés du centre de masse ou bien d'une surface trop étendue, leur effet stabilisateur fera osciller la fusée autour de son centre de masse, au lieu de la rétablir dans la direction du flux d'air.

La trajectoire

L'estimation de la trajectoire est importante pour plusieurs raisons.

- Premièrement, cela permet de valider la limite inférieure de 20 m/s en sortie de rampe, condition pour la stabilité.
- Le déploiement du parachute se fait traditionnellement à l'apogée du vol, où la vitesse dans l'air est la plus faible et donc les contraintes exercées. Le déploiement se faisant en utilisant la minuterie de vol, il faut donc savoir à l'avance à quel temps de vol aura lieu l'apogée.
- La zone autorisée pour le vol durant la campagne de lancements n'est pas illimitée. Il est donc important d'avoir une idée de la distance et l'altitude atteinte par la fusée, également pour connaître la taille de la zone où chercher la fusée pendant la récupération.

CAMPAGNE DE LANCEMENT

Traditionnellement, AéroIPSA lance ses fusées au C'Space, une campagne de lancements étudiante en France. Le cœur de l'équipe étant constitué également d'ingénieurs cette année, nous ne pouvons pas participer au C'Space et cherchons une campagne de lancements en Espagne ou Pologne.

Le segment sol devra être donc conçu et réalisé, à savoir une rampe de lancement (un rail en aluminium) et un système d'allumage du moteur.

PERFORMANCES ATTENDUES

Nous prévoyons une fusée d'environ 10-15 kilogrammes, entre 2m et 2.50m de haut.

L'altitude maximale atteinte est prévue autour de 5000-6000 m, la vitesse maximale atteinte à l'extinction du moteur étant autour de Mach 1.2, soit environ 1500 km/h.

