

Projet Atomic Blonde

Membres : Injar Sami, Chaulier Robinson, Hans Loïc, Herrera-Mione Thibault, Leneuf Antoine-Félix, Lopes Maeve, Rivoire Manon, Balossini Guillaume, Heckly-Leydier Pierre et De Verdiere Callixte

Nom du club : LéoFly

Année de mise en œuvre du projet : Été 2019

Résumé :

Pour la première fois, le projet voit la participation notre association LéoFly. Sur une durée de deux ans, l'équipe a travaillé sur la conception, l'étude et la réalisation de la première fusée expérimentale de LéoFly, jalonnée par un cahier des charges imposé par le CNES. A son bord, la fusée doit abriter une expérience. Cette année, le choix fut de travailler sur la trajectographie de la fusée.

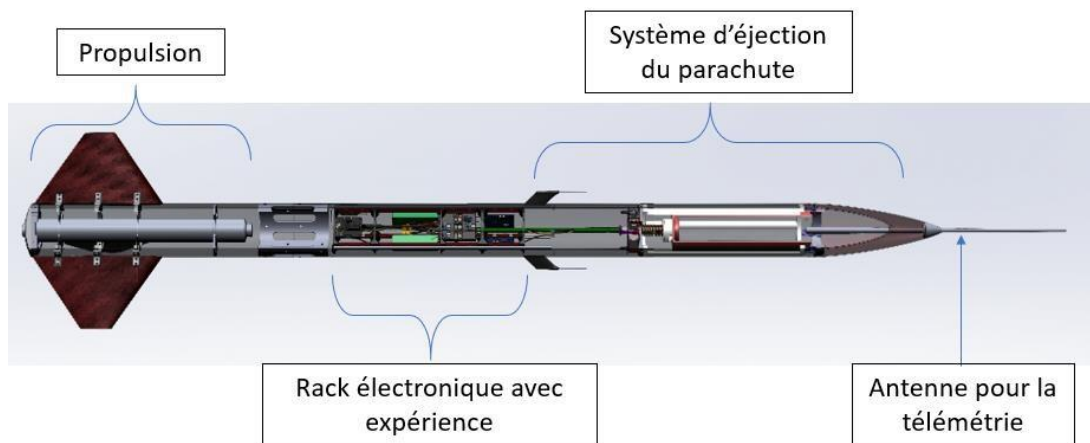


1 Introduction

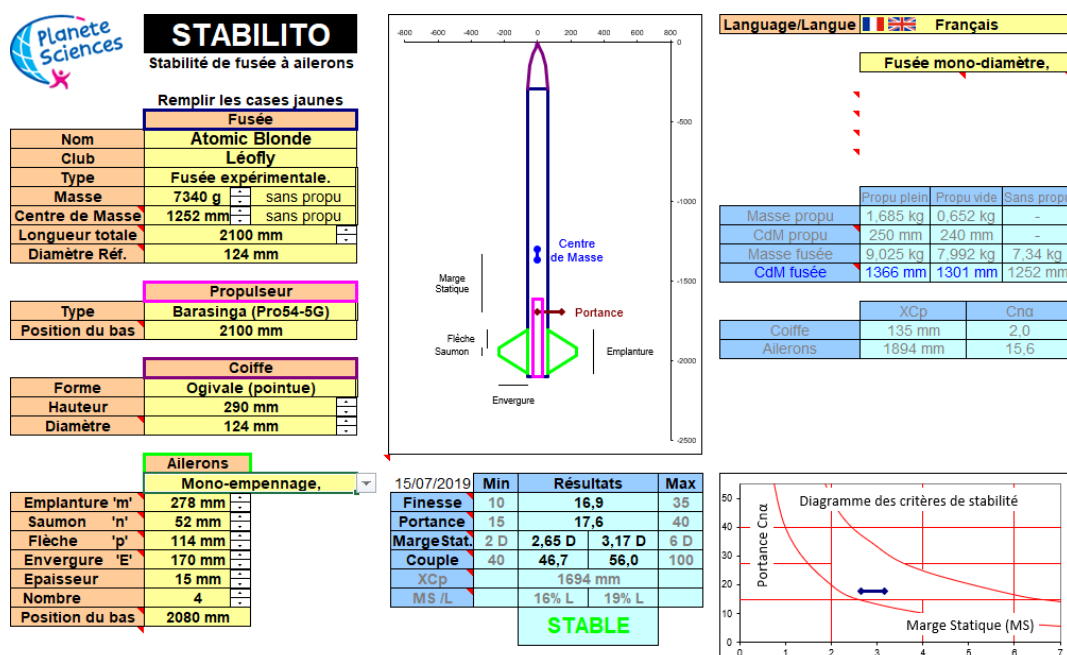
Dans la continuité du projet, cette année a été une année consacrée à la finition de notre lanceur Atomic Blonde. L'équipe a été réduite à 4 membres (déjà présent l'année dernière) de l'association Léofly et répartis en deux pôles : électronique et mécanique. Concernant l'organisation, nous planifions des réunions tous les mois afin de discuter de l'avancement ainsi que des problèmes rencontrés dans le but de trouver des solutions. Le choix de l'expérience a été fixé de façon définitive par l'équipe dès le début d'entreprise du projet en septembre 2017. Il s'agit donc de la trajectographie en un relevé de données nécessaires au calcul de la trajectographie.

2 Description mécanique

Pour notre lanceur nous avons décidé d'utiliser une peau porteuse en carbone. L'architecture interne est la suivante :



Concernant le dimensionnement de notre lanceur, nous avons utilisé une feuille de calcul Stabtraj que nous retrouvons ci-dessous :



Au niveau des ailerons, nous avons décidé d'utiliser un profil NACA 0009 à la base et 0007 au saumon. Nous les avons tout d'abord imprimés en PLA par impression 3D puis drapés de carbone pour assurer une rigidité suffisante aux efforts aérodynamiques. Ensuite, nous les avons fixés au corps par l'intermédiaire d'un support en aluminium comme ci-dessous :



La récupération de notre lanceur se fait grâce à un parachute hémisphérique (surface de 2.25 m^2) s'éjectant peu après l'apogée. Cette éjection se déroulera en deux étapes :

- Un servomoteur permettra, tout d'abord, le déverrouillage de l'ogive par l'intermédiaire de loquets (verrouillant cette dernière sur une bague de fixation à l'intérieur du corps supérieur) ;
- Ensuite, un autre servomoteur déclenchera un ressort (initialement comprimé grâce à un système à billes) permettant l'éjection du parachute.

Dans notre lanceur nous retrouvons également plusieurs bagues en aluminium servant à la fixation de pièces :

- Bague/bride reprise de poussée permettant d'empêcher tout mouvement vertical du propulseur et permettant ainsi de transmettre la poussée du propulseur à notre lanceur ;
- Trois anneaux de centrage propulseur ayant pour but de stopper tout mouvement radial du propulseur ;
- Une bague de liaison permettant de lier les corps inférieur et extérieur de la fusée ;
- Un anneau d'ancrage parachute servant à fixer le système d'éjection du parachute ;
- Deux bagues de fixation ogive permettant le verrouillage/déverrouillage de cette dernière à l'aide de loquets en aluminium.

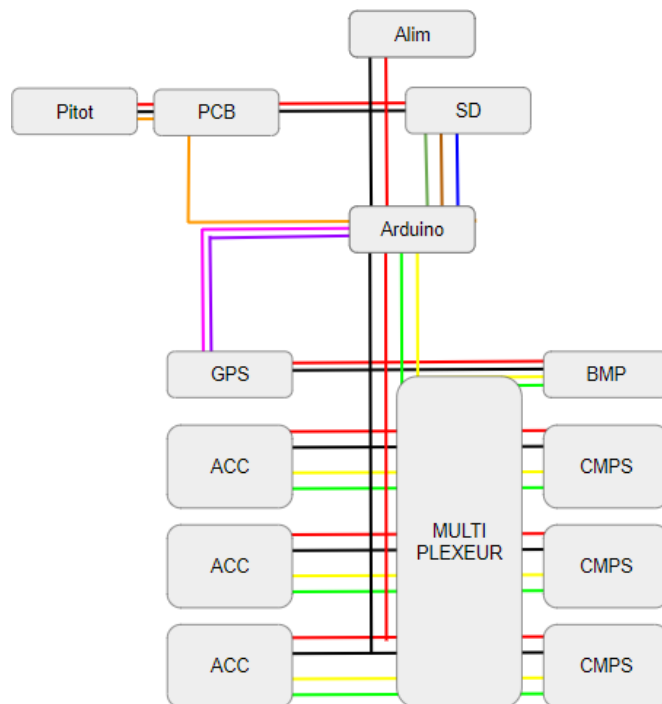


Bague de liaison (en haut à gauche), assemblage bague/bride reprise de poussée en haut à droite et en bas à gauche. Dans le dernier cadre en bas à droite (de haut en bas puis de gauche à droite) anneau de centrage propulseur, ancrage parachute, bride de reprise de poussée, anneau de centrage propulseur et bague de liaison.

3 Description électronique et informatique

Notre système électronique est séparé en 2 circuits : la chaîne de mesure, qui acquiert les données de vol et les enregistre sur une carte SD, et le séquenceur, responsable de l'éjection parachute.

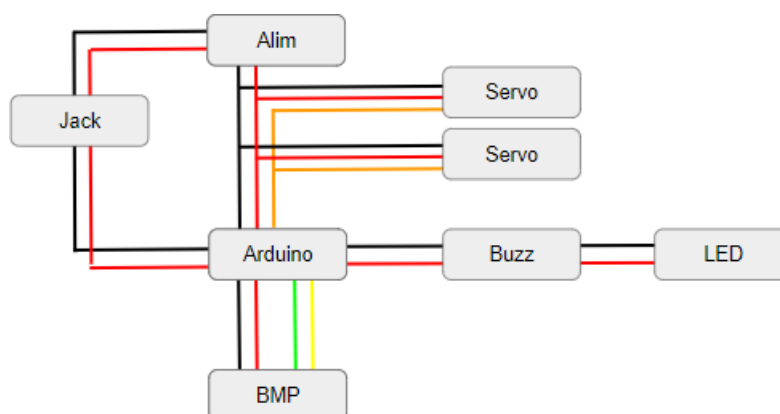
La chaîne de mesure est composée de différents capteurs. Tout d'abord nous disposons de 3 centrales inertielle, cela nous permet d'éviter les erreurs de mesures si l'un est débranché en vol, ou qu'il y a un "saut" dans les mesures. Nous avons aussi 3 compas, permettant de savoir la direction de la fusée, couplée aux accéléromètres. Également, nous avons un capteur de température et de pression ainsi qu'un GPS. Tous sont numériques, cela facilite le conditionnement qui n'est pas à faire, ainsi que l'acquisition des données. Reste le tube pitot et son capteur différentiel pour lequel on a du réaliser un simple gain afin d'avoir la plage de mesure la plus grande.



Toutes les données sont ensuite enregistrées sur la carte SD avec une trame reconnaissable en cas de perte ou d'absence de données durant le vol. Par ailleurs, dans le code nous avons sécurisé de manière que si la boucle dure trop longtemps et de façon non voulue, on la recommence. Cela permet de garder à chaque fois une trame complète et ne pas décaler les valeurs dans le temps.

Notre séquenceur est composé quant à lui de deux servo-moteurs déclenchant l'éjection de l'ogive puis du parachute. Un buzzer et une LED ont permis le test de l'éjection en vol simulé.

Ayant choisi de réaliser une détection de l'apogée, nous utilisons un capteur d'altitude. Une fenêtre temporelle est bien mise en place dans le code afin d'assurer une éjection si la détection venait à mal fonctionner. Un jack lance le séquenceur.



Notre éjection se fait par l'ogive, donc dans un premier temps l'ogive est éjectée puis le parachute aussi. Pour cela, le séquenceur mesure, au débranchement du jack, le temps de vol. Arrivé à $t = 12$ s, il lance la détection d'apogée prévue à 13.5 s. Pour cela nous réalisons une moyenne sur trois valeurs d'altitudes et la comparons à chaque fois à la valeur maximale relevée. Nous ajoutons un offset de 3 mètres pour être sûr que c'est bien l'apogée qui est détectée. A $t = 16.2$ s, le déclenchement est forcé s'il n'a pas été fait. Ainsi, on s'assure de l'éjection.

Chacun des deux circuits a sa propre alimentation reposant sur des LiPo de 5500 mAh. Cette alimentation de 7.4V, trop importante pour les capteurs, utilise un régulateur de tension à 5V pour pouvoir alimenter sans risque ces capteurs.

4 Expérience

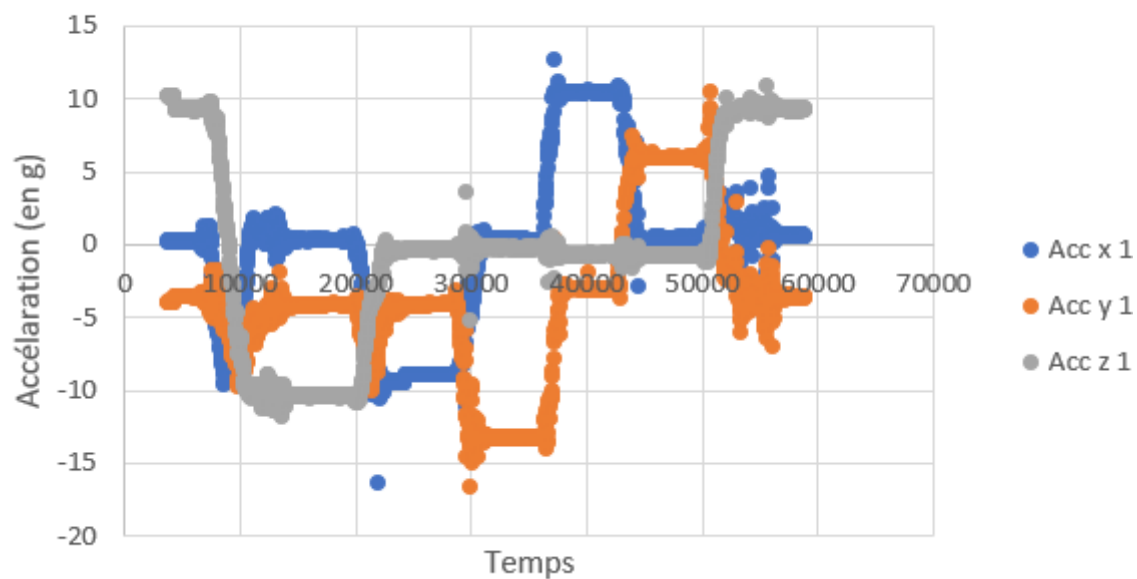
Nous cherchons à calculer la trajectoire qu'a suivi la fusée à l'issue de son vol. Pour se faire, nous avons créé une chaîne de mesure composée de plusieurs composants :

- 3 centrales inertielles, piliers de notre chaîne, permettant de récupérer l'accélération de la fusée
- 3 compas magnétique pour obtenir la direction de la fusée
- Le GPS ainsi que le capteur de pression/altimètre sont là pour corriger nos calculs si besoin
- Un capteur de pression différentielle associé à notre tube pitot pour obtenir la vitesse, qui pourra également juger de l'intégration première de l'accélération selon l'axe de la fusée

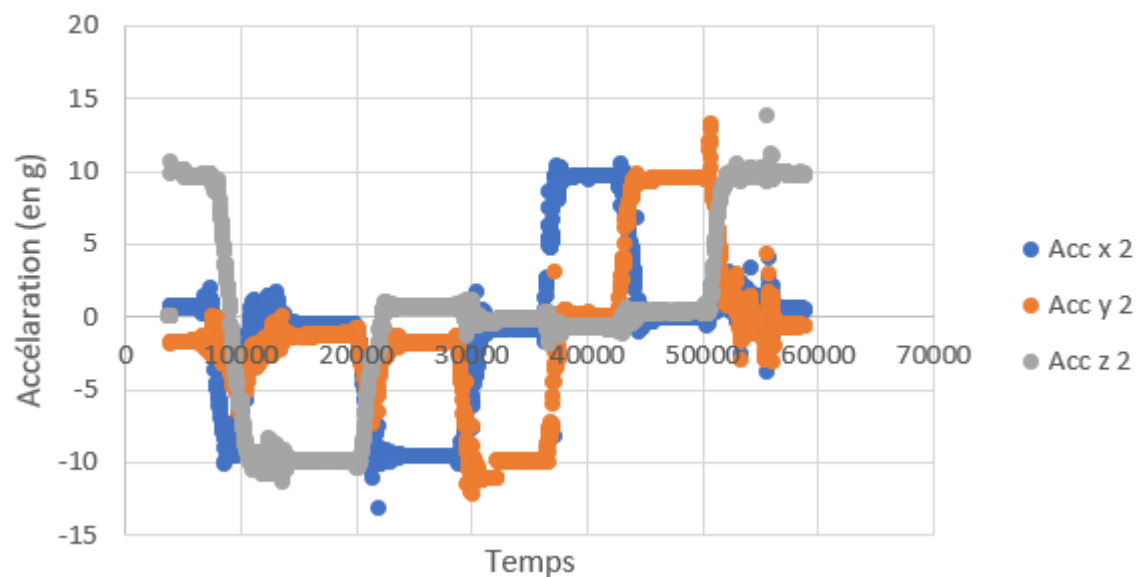
Toutes ces données récupérées au cours du vol sont enregistrées dans une carte SD et seront ensuite analysées après vol.

Voici les étalonnages des 3 accéléromètres. Au départ nous positionnons le rack électronique à la verticale (à environs $t = 10000$ ms), puis à l'horizontale avec l'axe "x" vers le sol. Enfin, nous tournons de 90° en 90° avant de repositionner le rack à la verticale mais dans l'autre sens que celui de départ. On remarque que seul des offsets sont à appliquer, en particulier pour l'axe y car aux extremums nous avons bien les valeurs de la gravité, 9.81g lorsque la correction est faite. L'étalonnage est semblable pour les 3 accéléromètres.

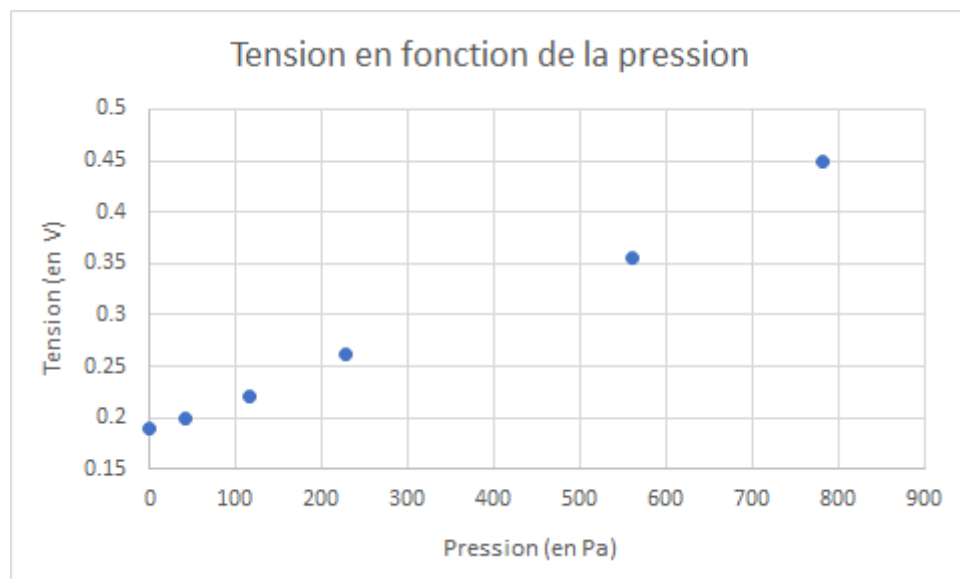
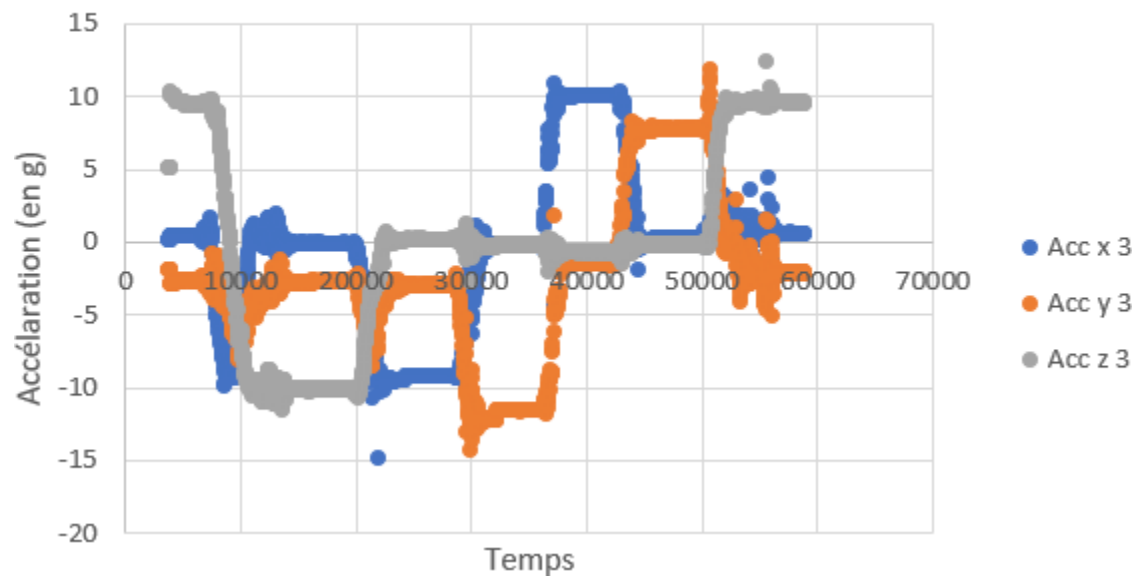
Etalonnage accéléromètre 1



Etalonnage accéléromètre 2



Etalonnage accéléromètre 3



Pour l'étalonnage de la sonde pitot et de son capteur différentiel, nous convertissons la vitesse en pression, afin de conserver la linéarité. En effet, grâce à la relation de Bernouilli, nous savons que c'est le carré de la vitesse qui est pris en compte dans les équations pour le tube pitot.

Nous avons testé les vitesses allant jusqu'à 130km/h (correspondant au dernier point). Pour les vitesses supérieures, nous devons donc nous baser sur cet étalonnage en supposant que la linéarité est conservée dans les hautes vitesses et extrapoler. En théorie, pour une vitesse de 650 km/h par exemple, nous recevons une tension de 4.76 V

Nous n'avons pu tester l'altimètre, car nous n'avions pas de moyen de vérification de l'altitude, mais cela n'est pas dérangeant puisqu'il suffira d'ajouter ou enlever l'offset mesuré au décollage. En effet, en testant les altitudes sur quelques mètres en montant d'étage en étage dans un bâtiment, la différence d'altitude est la bonne, mais nous ne pouvons juger de la valeur absolue de la mesure.

5 Parachute

Le parachute constitue le système de récupération de notre fusée. Il est éjecté à l'apogée (fixée à 1100 mètres) afin d'assurer la descente contrôlée de la fusée jusqu'à son atterrissage, devant être réalisé à une vitesse strictement inférieure à 10m/s. Pour cela, l'éjection du parachute est réalisée à une vitesse inférieure à 15m/s. En effet, en dessous de cette vitesse le choc à l'ouverture du parachute devient proportionnel à la vitesse de la fusée et à la surface de voilure avec un coefficient de proportionnalité inférieur à 1. Cela assure alors un choc supportable par une toile de parachute d'une surface d'environ 3 mètres carrés.

Concernant la forme du parachute, nous avons choisi de réaliser un parachute hémisphérique car plus performant au freinage que le parachute cruciforme, muni d'une cheminée centrale, et dont la voilure est subdivisée en 6 sections de 60 degrés chacune. Cette voilure est faite en toile de chikara dont la résistance au choc est très élevée et dont la capacité à supporter un choc maximal de 1000 Newton est largement acquise. Nous avons également choisi de la corde de voile de 3mm de diamètre en tant que corde de liaison entre l'émérillon et la fusée car très résistante au choc (elle peut supporter une charge à la rupture de 500kg soit résister à un choc de 5000 Newton). Enfin, nous avons fixé tous les 40 degrés de la voilure des œillets métalliques permettant de fixer les suspentes en corde de diamètre 1.7mm. Nous avons effectué un pliage dit « en sapin », c'est un pliage qui nous a été expliqué par les militaires sur le Camp de Ger.



6 Déroulement du vol

Le vol d'Atomic Blonde a eu lieu le mardi 23 juillet 2019 en matinée. La météo était bonne : soleil, peu de vent et pas de nuage.

La fusée a malheureusement réalisé un vol balistique : une mauvaise éjection du parachute est en cause. Sur les vidéos dont nous disposons, nous pouvons deviner l'ouverture de l'ogive. Cependant cette ouverture est trop tardive et intervient pendant la phase de descente de la fusée (accélération de la fusée après son apogée). A cause de cette vitesse importante, le parachute est tout d'abord comprimé dans la cage parachute de la fusée avant d'être expulsé violemment à l'extérieur. La violence est telle que la corde permettant de lier le parachute à la fusée se coupe sur le coup au moment où elle se tend (tension trop importante liée à la vitesse de descente trop élevée).



De plus, la fusée ayant ensuite fini sa course en zone minée, nous n'avons pu la récupérer. Des militaires du camp de Ger se chargeront de cette mission dans l'année.

7 Résultats

Au vu du vol balistique, nous ne pouvons pas donner de résultats au niveau de notre expérience.

Concernant le problème d'éjection, nous avons deux hypothèses :

- La détection de l'apogée n'a pas fonctionné. Suite à cela, la fusée prend trop de vitesse et bloque l'éjection de l'ogive.
- L'éjection du parachute n'était pas assez puissante au regard de la vitesse et des vibrations de la fusée.

La première hypothèse paraît probable. En effet même si nous étions dans les $\pm 20\%$ du temps de l'apogée, fixé par le cahier des charges, cela nous paraissait trop important d'avoir un temps maximal de déclenchement à 16,2 s. En observant le vol nous pensons donc que c'est la vitesse trop élevée qui a ensuite bloquée cette éjection tardive.

8 Conclusion

Ce projet pour nous était inédit. Nous rentrions dans un domaine que nous ne connaissons pas vraiment. Nous avons donc beaucoup appris que ce soit au niveau technique, conceptualisation, réalisation, usinage de pièces ou encore différents calculs sur la structure/ailerons de la fusée, mais aussi au niveau relationnel. Nous nous sommes vite rendus compte que sans communication le projet n'avancerait pas et nous ne sortirions rien de constructif de ce projet.

Nous restons bien évidemment frustrés de ne pas avoir réussi à faire un vol nominal et de ne pas avoir pu récupérer notre lanceur. Mais satisfait d'avoir vu notre projet décoller cette année. De plus, cette année nous avons eu la chance de pouvoir faire décoller nos trois fusées (Atomic Blonde, Skyception et SkyKnight) et d'assister à notre premier vol nominal, effectué par notre dernière fusée expérimentale Skyception.

Après cette campagne de lancement particulièrement enrichissante dans la catégorie Fusex et Minif, nous songeons à renouveler l'expérience dès l'année prochaine en travaillant sur trois mini-fusées et une fusée expérimentale. Cette fois-ci, l'objectif pour cette dernière ne sera plus de contrôler la vitesse mais potentiellement sa position angulaire. De plus, afin d'expérimenter de nouveaux domaines, la localisation du lieu d'atterrissage de la fusée pourrait être contrôlée par une voile.

9 Remerciements

Finalement, nous tenons à remercier nos sponsors qui nous ont aidés durant notre projet

alTRAN

MATEDUC
composites



Puis, bien évidemment, l'ESILV et le Pôle Universitaire Léonard De Vinci, sans qui nous n'aurions jamais pu envisager et réaliser ce projet



Nous tenions également à remercier le bureau de l'association LéoFly qui a su être présent et réactif lorsqu'on avait besoin d'eux ainsi que M. Perreti et M. Zanette, pour leurs conseils en électronique, et Messieurs BIDAULT et GALLAIS pour leurs conseils et aides en usinage.

Et finalement, nous tenions à remercier tout particulièrement M. Clément CAILLAUD, ancien élève, qui a su nous encadrer, aider et motiver pour que l'on puisse être efficace dans notre projet.