

Rapport de projet

Fusex Marguerite



Année : 2021-2022

Club : ESO

Table des matières

<i>Avant-propos</i>	3
Membres du projet :	3
Résumé	3
<i>Introduction</i>	4
<i>Description mécanique</i>	5
<i>Description de l'électronique</i>	7
<i>Description de l'expérience</i>	9
<i>Déroulement du vol</i>	12
<i>Résultats</i>	13
<i>Conclusion</i>	15

Avant-propos

Membres du projet :

- Nathan DESBORDES (Chef de projet)
- Mathilde POLAN (Cheffe de projet)
- Simon GUILLOIS (Respo mécanique)
- Thomas GABOREAU (Respo expérience)
- Samuel LEMAIGRE (Respo minuterie)
- Théo Nolius
- Foucaud DU PORTAL
- Maeg MEDEVIELLE
- Tom HOELLWARTH
- Alexandre DE FOUGEROUX
- Capucine PETITJEAN
- Sloane STANISLAS
- Quentin souchet
- Axel Mouchot
- Tidian FOTSO
- Hugo PERROT
- Raphaël KERBRAT



Résumé

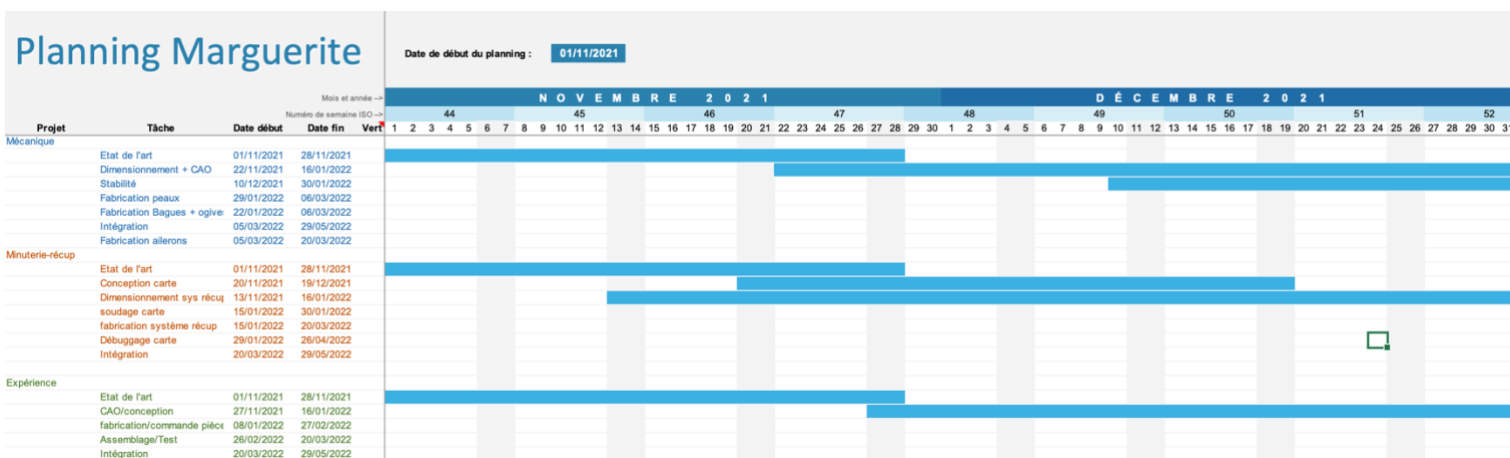
Le projet a débuté en septembre 2021. Il a été lancé par des membres de l'association sur le campus de Laval. Motivé par 2 objectifs : le premier étant de réunir les nombreux membres ayant rejoint l'association autour d'un projet plus important qu'une mini-fusée, le second étant de réaliser des essais de systèmes ou procédés servant au projet principal de l'ESO, la fusée sonde ESL-1. L'expérience était une étude de l'influence des ailerons sur le roulis de la fusée. Les résultats sont assez étonnants, une conclusion possible serait que les ailerons n'ont quasiment aucun impact sur le roulis général de la fusée, dans notre cas d'étude.

Introduction

Ce projet de fusex s'inscrit dans la continuité des projets de l'association ESO, dont l'objectif est d'initier, de former et de développer les compétences de ses membres à travers différents projet relatifs au monde du spatial comme la fabrication de fusex ou de minif. Dans ce contexte, une équipe de l'association sur le campus de Laval s'est formée en début d'année pour fabriquer une fusée expérimentale.

Le projet compte 17 membres répartis dans 3 pôles, le pôle mécanique, le pôle minuterie/récupération et le pôle expérience.

Vous pouvez observer ci-dessous le planning établi en début de projet avec les différentes tâches et objectifs à atteindre.



Pour chaque pôle le projet a débuté par un état de l'art et le dimensionnement. Nous avons mis en place des réunions hebdomadaires entre les responsables de chaque pôle afin que tout le monde avance ensemble et qu'il n'y ait aucun quiproquo.

Une fois le dimensionnement terminé environ début décembre, il a fallu commander et faire usiner toutes les pièces, ce qui a pris plus de temps que prévu. Chaque pôle à avancer plus ou moins vite dans la fabrication de sa partie en fonction des difficultés rencontrées. Finalement toutes les parties ont été finis, pour la première intégration, à peu près en même temps.

Cette fusée et son expérience est née d'un besoin de tester plusieurs systèmes pour notre projet de fusée sonde et également de réaliser un projet plus gros et plus complexe qu'une mini-fusée de formation car un grand nombre de d'étudiants ont rejoint l'association cette année.

La trappe parachute mesure 29 cm de haut et se trouve juste en dessous du bloc minuterie avec une ouverture par électroaimant. Elle contient un parachute rond de 600 mm de rayon avec une cheminée de 35 mm de rayon en tissu nylon. 8 suspentes sont accrochées par des œillets à celui-ci et un anneau anti-torche imprimé en 3D ainsi qu'un émerillon empêche l'enroulement des suspentes. Ce parachute est maintenu en position par une bague imprimée en 3D avec une petite pente qui aide le parachute à s'extraire plus facilement lors de l'ouverture.

Juste en dessous on retrouve une caméra miniature filmant les ailerons. L'attache du parachute se fait au niveau de la bague de poussée avec une tige filetée qui est vissée à celle-ci.

Enfin vient la partie expérience au niveau des ailerons. Le moteur vient se loger dans un tube en aluminium fileté de chaque côté pour être vissé à la bague de poussée d'un côté et à une bague de maintien du moteur de l'autre côté. À la moitié du moteur se trouve une bague qui permet le centrage du moteur. Puis en dessous nous avons installé les ailerons sur 2 bagues de roulement coniques, ce bloc tournant mesure 25 cm de haut. Il y a également 2 capteurs juste au-dessus qui permettent de mesurer le taux de rotation des ailerons. Cette partie est expliquée plus en détail dans la section expérience.



Description de l'électronique

Nous utilisons une minuterie numérique pour notre fusex. Celle-ci est composée d'une carte Arduino nano et d'un électroaimant qui maintient la trappe fermée jusqu'au moment de l'ouverture. La carte minuterie est reliée à la carte Arduino uno de l'expérience, le signal permettant à la carte expérience de connaître l'instant du décollage est transmis à travers un optocoupleur afin de conserver l'isolation électrique des 2 systèmes.

La détection du décollage se fait grâce à une prise jack directement reliée à la carte Arduino nano. Nous faisons ensuite un décompte de 16s sur la carte avant le déclenchement de l'ouverture du parachute en envoyant un courant dans l'électroaimant ce qui va libérer la trappe et entraîner l'ouverture du parachute.

Voici ci-dessous le code de la carte Arduino de la minuterie.

```
int led_R=2;
int led_J=3;
int led_V=4;
int jack=8;
int MOSFET=6;
int arduino_exp_decollage=10;
int arduino_exp_ouverture=11;
int EtatJack=0;

//Séction à remplir en fonction du projet
int T_appogee=5; //Le temps d'attente jusqu'à l'apogée (s)
int D_ouverture_trape=15; //La durée d'ouverture de la trappe (s)

int T_appogee_ms=1000*T_appogee;
int D_ouverture_trape_ms=1000*D_ouverture_trape;

void setup() {
  pinMode(led_R,OUTPUT);
  pinMode(led_J,OUTPUT);
  pinMode(led_V,OUTPUT);
  pinMode(MOSFET,OUTPUT);
  pinMode(jack,INPUT);
  pinMode(arduino_exp_decollage,OUTPUT);
  pinMode(arduino_exp_ouverture,OUTPUT);
  digitalWrite(led_R,HIGH);
  digitalWrite(led_J,LOW);
  digitalWrite(led_V,LOW);
  digitalWrite(MOSFET,LOW);
  digitalWrite(arduino_exp_decollage,LOW);
  digitalWrite(arduino_exp_ouverture,LOW);
}

void loop() {
  EtatJack=digitalRead(jack);
  if (EtatJack==1){
    digitalWrite(led_J,HIGH);
    digitalWrite(arduino_exp_decollage,HIGH);
    delay(T_appogee_ms);
    digitalWrite(arduino_exp_ouverture,HIGH);
    digitalWrite(led_V,HIGH);
    digitalWrite(MOSFET,HIGH);
    delay(D_ouverture_trape_ms);
    digitalWrite(MOSFET,LOW);
    digitalWrite(led_V,LOW);
    digitalWrite(led_J,LOW);
    digitalWrite(arduino_exp_decollage,LOW);
    digitalWrite(arduino_exp_ouverture,LOW);
    while (EtatJack==1){
      EtatJack=digitalRead(jack);
    }
    delay(500);
  }
}
```

Les cartes Arduino sont alimentées chacun par une pile 9V. L'électroaimant est quant à lui alimenté par une pile Lipo 12V. L'électroaimant étant par défaut aimanté, nous utilisons la Lipo seulement au moment de l'ouverture puis nous l'éteignons peu de temps après, cela évite que la Lipo fonctionne trop longtemps.

Le système d'enregistrement des données est composé d'un lecteur de carte micro SD et d'une carte micro SD, l'ensemble est relié à la carte Arduino uno de l'expérience.

La fusée n'est pas équipée de télémétrie.

Ci-dessous le plan du câblage de la minuterie :

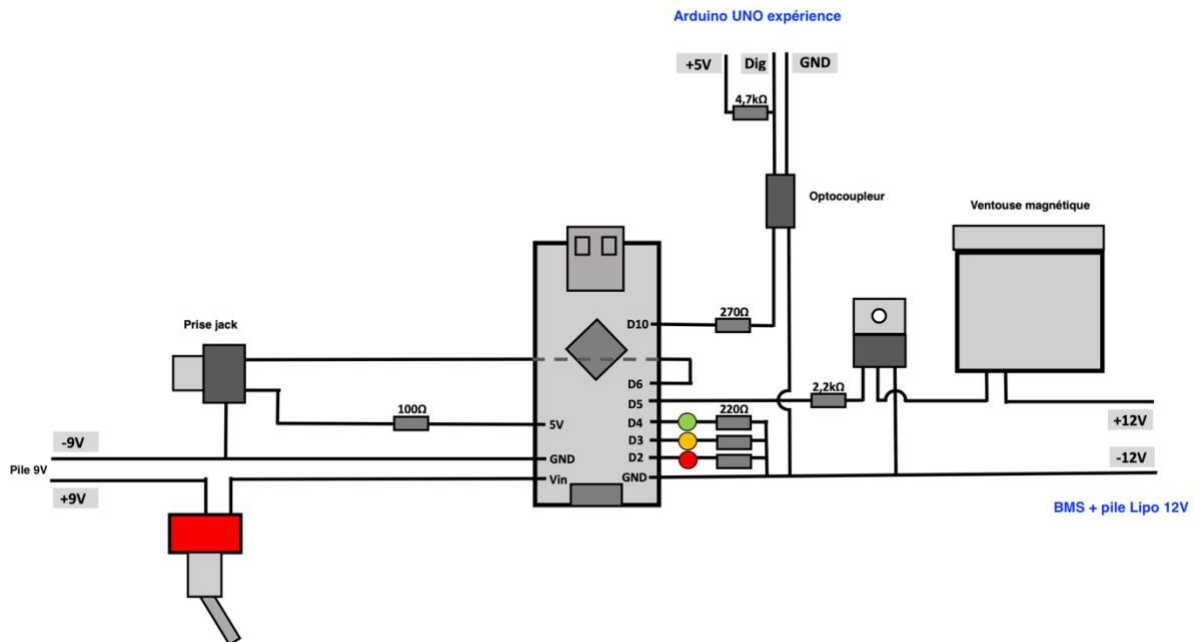


Figure 1 : Schéma électrique de la minuterie

Description de l'expérience

L'expérience que nous avons conçue consiste à étudier les effets de roulis sur une fusée et de proposer une solution passive pour mitiger celui-ci. Notre objectif est de récupérer un maximum de données et d'informations sur les effets et les conséquences qu'engendre le roulis sur une fusée de type fusex. Cette fusex sert un objectif plus grand, la fusée sonde de l'ESO, nous avons besoin de récupérer des informations sur ce sujet pour pouvoir proposer une solution pertinente sur notre fusée sonde.

Nous avons ainsi mis au point un système de pivot permettant un détachement mécanique entre les ailerons et le reste de la fusée et la libre rotation des ailerons autour de l'axe vertical de la fusée. Nous allons ainsi pouvoir mesurer si les efforts appliqués sur les ailerons exercent une influence sur le roulis de la fusée et si le détachement mécanique entre les ailerons et la fusée permet de le réduire tout en gardant une fusée stable.

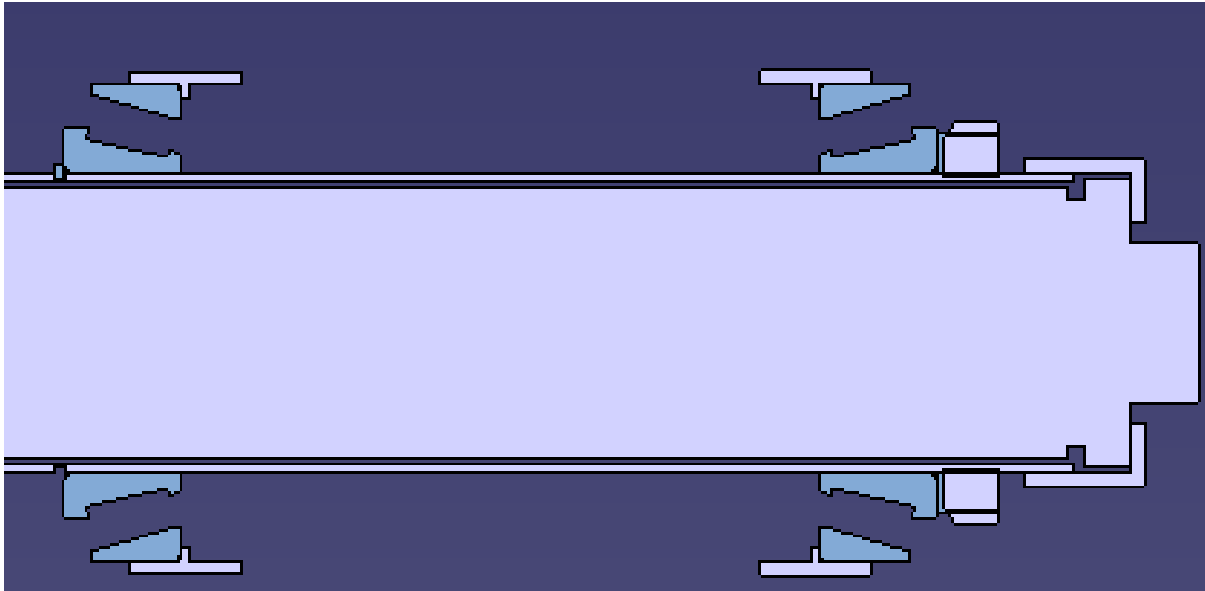


Figure 2 : Vue en coupe de la partie expérience

Comme vous pouvez le voir sur cette vue en coupe, les ailerons qui sont montés sur une peau séparée du reste du corps et elle-même montée sur 2 bagues de roulements coniques. Ces deux roulements sont montés en 0, les bagues extérieures sont fixées à la peau par l'intermédiaire d'une petite bague. Les bagues intérieures sont montées serrées sur le tube. Un écrou ainsi qu'un circlip permettent de réaliser les arrêts axiaux sur les bagues intérieures.

Nous mesurerons ainsi d'une part le taux de rotation du bloc ailerons avec 2 fourches optiques qui mesurent le sens de rotation et le nombre de tours pendant la phase ascendante grâce à une roue crantée de 32 pics. Lorsque que les ailerons tournent ils entraînent la roue ce qui va créer une alternance de vide (0) ou plein (1) devant la fourche. Connaissant l'écart



Figure 3 : Photo de la partie expérience montée

entre chaque pic nous pouvons ainsi déterminer l'angle et la vitesse de rotation. L'utilisation de 2 fourches nous permet de connaître le sens de rotation.

L'étalonnage de ces capteurs se fait en faisant tourner les ailerons pendant quelques secondes, nous filmons l'essai pour pouvoir calculer visuellement la vitesse de rotation puis nous comparons cette valeur avec la vitesse de rotation indiquée par le capteur.

Nous avons une incertitude quant à la vitesse de lecture du capteur, en effet, si la vitesse de rotation est trop élevée le capteur peut saturer mais il semblerait que la vitesse limite soit très élevée et qu'elle ne sera jamais atteinte en vol.

D'autre part, tout en haut de la fusée nous avons installé 2 capteurs, un gyroscope mpu6050 et un magnétomètre QMC5883L qui mesureront tous les 2 le taux de rotation du corps de la fusée pour pouvoir ensuite comparer et évaluer si le système mis en place à une quelconque influence sur la stabilité de la fusée.

Ces 2 capteurs mesurent l'orientation XYZ de la fusée dans l'espace et les angles associés.

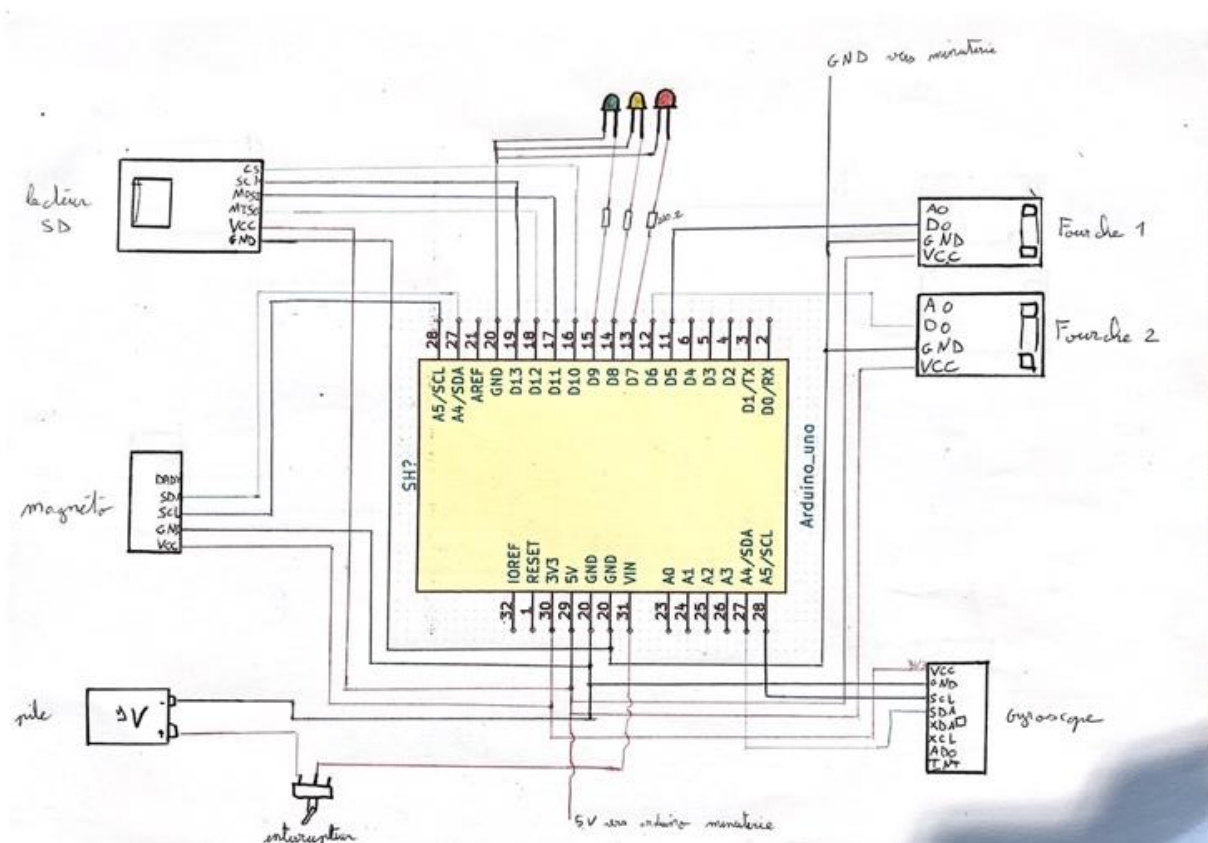


Figure 4 : Schéma électrique de l'expérience

Nous allons étalonner ces capteurs en les positionnant dans la fusée, celle-ci est placée au-dessus d'un rapporteur, nous tournons la fusée d'un angle connu autour de l'axe de la fusée puis

nous comparons avec la valeur donnée par le capteur, cette expérience est répétée plusieurs fois.

Les erreurs de mesure liées à ces 2 capteurs sont notamment une erreur sur la position du capteur, en effet si nous ne l'avons pas mis exactement au centre, sur l'axe de la fusée, il peut y avoir un décalage entre l'angle réel et l'angle mesuré par les capteurs. Le mpu6050 ne donne pas directement un angle d'orientation mais plutôt une vitesse de rotation, un angle s'obtient par intégration dans le temps, il y a donc également une incertitude liée aux erreurs de dérivées.

Le magnétomètre est un module GY-273 basé sur le capteur QMC5883L d'Honeywell. Il mesure de faibles champs magnétiques, avec une interface numérique, sa résolution est de l'ordre de 10 milli-Gauss. Il donne les coordonnées d'un vecteur lié au champ magnétique. Nous pouvons avoir des erreurs liées aux perturbations magnétiques notamment si des objets produisant un champ magnétique sont à proximité. Toutes les données seront stockées sur une carte micro SD dans un fichier csv utilisable sur Excel. Chaque valeur trouvée par les capteurs sera écrite sur la carte sd via un lecteur sd branché sur la carte Arduino.

N'ayant jamais vu d'expérience similaire, les hypothèses sont nombreuses quant aux résultats obtenus, nous faisons l'hypothèse que les ailerons ne tourneront pas de manière régulière mais plutôt par à-coup en fonction des perturbations aérodynamiques.

Nous pensons que les ailerons n'atteindront pas une vitesse supérieure à 5 tours/sec.

Et nous espérons que le taux de roulis du corps de la fusée sera réduit mais non nul car il reste des imperfections qui risquent de provoquer des perturbations.

Une de nos craintes serait que les ailerons se mettent à tourner trop rapidement ce qui pourrait entraîner une déstabilisation de la fusée.

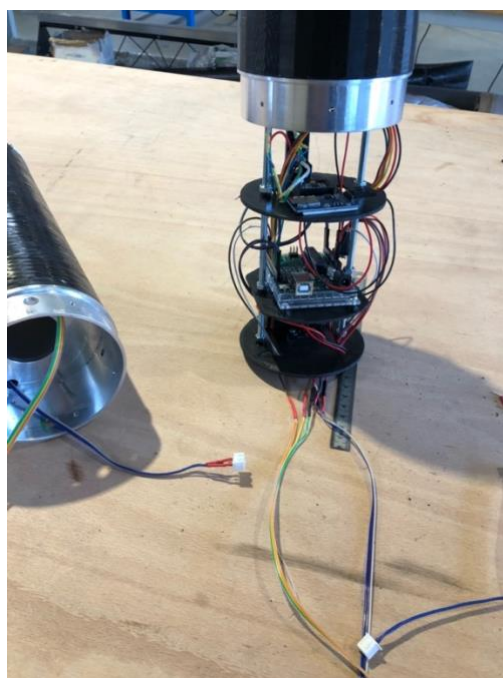


Figure 5 : rack expérience

Déroulement du vol

Nous sommes arrivés au C'Space le lundi 18 juillet 2022 avec une fusée quasiment prête au vol. Il nous fallut seulement 2 jours de travail pour finaliser la fusée afin de valider tous les contrôles. Nous avons été qualifiés pour le vol le mercredi après-midi. Le vol a été planifié et effectué dans la foulée, le mercredi 20 juillet 2022 à 17h30. La météo était bonne mais avec une couverture nuageuse dense et basse.

Le vol fut nominal, la trajectoire était stable, bien droite avec peu d'oscillation. Le parachute s'est déployé entièrement et correctement et la descente fût lente car le parachute était grand. Le vent était favorable car la fusée est retombée à 100 mètres du pas de tir. Nous avons récupéré la fusée en entier même s'il y a un peu de casse à déplorer. 2 ailerons se sont cassés probablement lors de l'impact de l'atterrissage. Il faut tout de même noter que la cassure s'est produite à la limite de la couche de carbone sur le bois, une solution serait de recouvrir entièrement les ailerons de carbone pour une meilleure résistance.

Nous remarquons également 2 fissures dans la peau en carbone au niveau de la trappe parachute. Nous pensons que celle-ci se sont produites lors de l'ouverture du parachute, la corde s'est probablement appuyée sur la peau lors du déploiement et la puissance du choc a fissuré la peau mais ne l'a pas entièrement sectionné.

Nous pourrions aussi mentionner une casse de la coiffe mais celle-ci s'est produite juste avant le vol en tente club lors du déchargement de la fusée du camion. Nous avons réussi à réparer avec du scotch et cela n'a pas eu d'impact sur le vol. Moral de l'histoire, restez vigilant jusqu'au dernier moment, cassé un truc peut arriver à n'importe quel moment.

Résultats

Beaucoup de choses sont à retenir de cette fusée et de son expérience !

Nous avons pu récupérer la carte sd de la caméra qui a bien filmé le vol avec de belles images à analyser. Malheureusement lorsque nous avons récupéré la carte sd des capteurs, celle-ci était vide. Nous n'avons toujours pas trouvé la cause, juste avant lors du vol simulé tout fonctionnait parfaitement. Après le vol nous avons réalisé un nouveau test et cela fonctionnait. Lors de la récupération nous avons vérifié que tout était toujours bien branché et nous n'avons trouvé aucune anomalie. Nous ne pensons pas avoir fait de mauvaise manipulation et lors de l'initialisation en rampe toutes les led étaient nominales. Une hypothèse serait une mauvaise ouverture de la carte SD ou une saturation de celle-ci du fait qu'elle soit restée ouverte et en activité jusqu'à la récupération.

Malgré tout, la vidéo de la caméra nous permet tout de même d'analyser et de conclure beaucoup de choses.

Pour rappel, l'hypothèse de départ était que les ailerons allaient tournés différemment du corps de la fusée et le roulis du corps de la fusée serait donc fortement diminué.

Finalement grâce à la caméra on remarque que les ailerons n'ont absolument pas tourné tout au long du vol. Ils sont restés fixes par rapport au corps de la fusée, comme s'ils étaient simplement attachés au corps comme toutes les autres fusées. Et la fusée entière a eu un roulis que l'on pourrait considérer de classique.

Ce résultat est étrange et n'est absolument pas prévu dans toutes les hypothèses faites par l'équipe et même les encadrants.

Nous remarquons lors de l'ouverture du parachute, à l'apogée, que les ailerons ont tourné et même plutôt vite ce qui confirme qu'il n'y a pas eu de blocage. Plusieurs conclusions peuvent être tirées sur cette expérience et ces résultats.

Attention : toutes ces conclusions sont à prendre avec des pincettes et ne concernent que notre fusée, elles ne peuvent pas être généralisées, il faudrait répéter plusieurs fois la même expérience pour en conclure quelque chose de plus générale pour cette catégorie de fusées.

D'abord, on pourrait en conclure que les ailerons n'exercent pas une influence notable sur le roulis général de la fusée et c'est pourquoi ils n'ont pas tourné, les efforts exercés sur les ailerons lors du vol ne seraient pas des efforts engendrant du roulis et c'est pourquoi la fusée a eu du roulis sans être compensé par les ailerons. Une hypothèse proposée serait que le roulis serait produit par le moteur, il faudrait qu'une expérience, permettant de mesurer le roulis du moteur, soit menée pour vérifier cette hypothèse.

Une autre conclusion assez probable est qu'il y a eu un matage des roulements lors de la phase descendante, ils se sont compressés à cause de la forte accélération empêchant la rotation. Pour preuve, dès que l'on atteint la fin de course, l'empennage se désolidarise de nouveau et se remet à tourner.

Il faut aussi remarquer que même si les ailerons n'ont pas tourné par rapport au corps, ils ont tout de même suivi la rotation en roulis du corps, cela peut-être s'expliquer par l'inertie,

additionnée aux frottements au niveau des bagues de roulement, qui a entraîné le bloc ailerons en rotation en même temps que le corps.

Aucune mise en roulis volontaire n'a été faite sur cette fusée. Une autre conclusion proposée serait que, si les ailerons ont été très bien installés avec très peu d'erreurs et d'angle par rapport à l'axe de la fusée, alors la position parfaite de ces ailerons implique qu'aucun roulis n'est créé à cause des imperfections. De plus les efforts aérodynamiques, lors de la phase propulsée, exercent une pression sur les ailerons qui pourraient les empêcher de tourner. Il faudrait poser la question à une personne qualifiée dans ce domaine afin d'évaluer cette hypothèse.

Enfin on peut également noter que la peau réalisée à l'enrouleuse filamentaire a fait ses preuves, elle a passé tous les contrôles sans problèmes et a très bien tenu pendant le vol malgré une fissure dû à l'ouverture du parachute.



Figure 6 : Peau fissurée suite au vol

Conclusion

Pour conclure, cette fusée a pu être réalisée dans un temps raisonnable (~8 mois) et a rempli ses principaux objectifs qui étaient le vol nominal, une expérience fonctionnelle dont on pouvait examiner les données et des procédés de fabrication simplifiés et innovants.

Avec une peau en carbone tressée à l'enrouleuse, une minuterie numérique et un système de récupération classique, la partie commune n'a pas été très complexe à réaliser.

En revanche, concevoir le système de pivot et l'ensemble du système électronique de l'expérience fut plus complexe et nous a demandé plus de temps et de moyen, nous avons passé beaucoup de temps à échanger avec certains de nos professeurs et les anciens de l'ESO pour réussir à concevoir un système fiable, robuste et intégrable.

Le vol a montré des résultats étonnants mais intéressants. Dans le cas de notre fusée, les ailerons exerceraient une influence négligeable sur le roulis de la fusée. Cela ouvre de nouvelles questions, quel est le réel facteur qui influe sur le roulis de la fusée ? Les ailerons ont-ils vraiment une influence négligeable dans le roulis d'une fusée (pour cet ordre de grandeur de fusée) ?

L'utilisation de l'enrouleuse filamentaire pour la réalisation des peaux semble également être une réussite, une application sur des peaux de plus grands diamètres est possible moyennant une étude approfondie sur la compressibilité et le paramétrage optimum de l'enrouleuse.

L'organisation de ce projet s'est dans l'ensemble bien déroulée, le découpage par pôle avec des responsables pour chacun a très bien fonctionné et a permis un échange rapide des informations entre chaque pôle et donc un travail plus productif, grâce également à une réunion hebdomadaire qui permettait de faire un point d'avancement régulier. Une chose à revoir serait peut-être, la gestion de l'implication des membres du projet et peut-être le nombre de personnes. Nous étions plus d'une quinzaine au départ mais rapidement nous avons remarqué que l'implication des membres n'était pas homogène jusqu'à arriver vers la fin du projet où il ne restait plus qu'un petit noyau d'environ 6-7 personnes.

Plusieurs méthodes d'assemblages sont peut-être également à conserver pour les futurs projets, notamment le boîtier de la minuterie qui permettait une intégration très simple et propre grâce à de l'impression 3D. Le rack expérience était également très pratique car simple à intégrer et avec tous les composants faciles d'accès.

D'autres expériences sont maintenant à mener pour étudier d'autres parties de la fusée et connaître leur influence sur le roulis.

Une expérience pourrait également être menée sur la partie récupération afin d'étudier et d'optimiser l'ouverture et le déploiement du parachute car on notera tout de même que l'ouverture a créé une large entaille dans le carbone au niveau de la trappe !

Enfin, merci à tous les membres et les encadrants qui ont permis au bon déroulement de ce projet et qui nous ont permis de remporter le prix fusée expérimentale du C'Space 2022 !