

DIEUX Jimmy
THIEBAUT Louise
DUPERRIN Titouan
JUMEL Christopher
DELELIS Eythan

Rapport de vol du projet MF23 : HÉSPÉRUS





Sommaire :

Sommaire.....	2
Tables des illustrations.....	3
Introduction.....	4
I/ Présentation du projet.....	5
A) Les membres du groupe.....	5
B) Présentation de la structure.....	5
1) La conception mécanique.....	5
2) La conception électronique.....	11
II/ Les expériences.....	14
A) Les expériences souhaitées.....	14
B) Les expériences réalisées.....	15
III/ Le déroulement du vol.....	15
A) Les conditions météo lors du lancement.....	16
B) Description du vol.....	16
C) Résultats des expériences.....	17
Conclusion.....	18
Remercîments.....	19
Bibliographie et Nétographie.....	19



Tables des illustrations :

Figure 1 : Table des rôles de chacun dans la réalisation du projet.....	5
Figure 2 : Représentation d'Hésperus sur le logiciel OpenRocket.....	6
Figure 3 : Schéma avec côtes des ailerons présents sur la fusée.....	6
Figure 4 : Modélisation en 3D d'Hésperus représentant les différentes sections qui la compose.....	7
Figure 5 : Représentation 3D du compartiment supérieur.....	7
Figure 6 : Vue éclatée du compartiment supérieur.....	8
Figure 7 : Modélisation 3D de la trappe et la section parachute.....	8
Figure 8 : Vue éclaté de la zone parachute.....	9
Figure 9 : Représentations du compartiment intermédiaire avec et le corps porteur.....	9
Figure 10 : Représentations des deux parties du système des Aérofreins.....	10
Figure 11 : Représentation 3D du compartiment moteur.....	10
Figure 12 : Vue éclatée du compartiment moteur.....	10
Figure 13 : Photographie et schéma électrique d'un optocoupleur.....	11
Figure 14 : Schéma fonctionnel des cartes séquenceur à gauche et expérience à droite.....	11
Figure 15 : Schéma électrique du pont régulateur de tension.....	12
Figure 16 : PCB de la carte parachute.....	12
Figure 17 : PCB de la carte expérience.....	12
Figure 18 : Organigramme représentant le programme du séquenceur.....	13
Figure 19 : Photographie d'aérofreins sur l'avion-fusée SO-9000.....	15
Figure 20 : Photographie du Pas-de-tir juste avant le lancement.....	16
Figure 21 : Photographies retraçant le vol de notre projet.....	16



Introduction :

L'école Elisa Aerospace étant spécialisée dans les domaines de l'aéronautique et du spatial, a décidé de favoriser ses étudiants par le biais d'associations. C'est dans ce contexte que l'association Elisa-Space dont nous sommes membres intervient, en effet celle-ci a déjà permis de lancer deux projets mini-fusée. C'est dans la continuité de ces activités que nous avons décidé de monter notre propre projet de mini-fusée.

Nous avons alors formé un groupe de cinq étudiants en première année de cycle préparatoire afin de préparer le lancement. Nous pensions tous que ce défi, serait l'opportunité d'acquérir de nombreuses connaissances qui nous seront utiles aussi bien dans notre vie étudiante que professionnel.

L'idée principale du projet Hespérus est de collecter de multiples données tout au long du vol. Le développement du projet a été lancé dès notre intégration dans l'association. Ainsi, nous avons mis moins d'un an pour conceptualiser et construire notre fusée.

Nous allons dans ce rapport passé en revue l'historique de notre projet. Nous allons dans un premier temps, faire la présentation du projet puis dans un second temps, nous nous intéresserons aux expériences embarquées et enfin nous passerons en revue le vol de la fusée.



I/ Présentation du projet :

A) Les membres du groupe :

Comme nous l'avons dit précédemment, nous étions un groupe composé uniquement de première année en cycle préparatoire. De ce fait, aucun de nous n'avait de réelles expériences que ce soit en mécanique, électronique ou en mini-fusée. Nous avons donc dû faire face à de nombreuses difficultés dans ces domaines, ce qui nous a fortement ralenti dans le développement de notre projet. Cependant, nous avons pu compter sur l'expérience des membres de planètes sciences et l'aide de notre association pour finaliser Hésperus.

Afin de faciliter l'organisation du travail au sein de notre groupe, nous avons réparti les tâches de façon simple en attribuant à chacun un domaine d'activité, de préférence celui avec lequel il a le plus d'affinités. De ce fait, chaque membre ne se focaliser que sur sa partie du développement et ne communiquer que sur les informations essentielles aux autres membres du groupe tout en respectant un pseudo cahier des charges établi par nos soins. Nous avons donc obtenu la repartitions suivante :

Nom	Rôles
Dieux Jimmy	-Chef de Projet -Conception mécanique -Construction/intégration mécanique
Duperrin Titouan	-Conception électronique -Construction/intégration électronique -Programmation
Thiebaut Louise	-Design -Aide construction mécanique
Jumel Christopher	-Conception système de récupération -Construction système de récupération
Delelis Eythan	-prestation peu notable

Figure 1 : Table des rôles de chacun dans la réalisation du projet.

B) Présentation de la structure :

Notre mini-fusée Hésperus possède une hauteur totale de 1010mm, pour un diamètre de 60mm et un poids total de 1.457Kg.

1) Conception mécanique :

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à la conception mécanique de notre fusée. Ainsi, nous allons tout d'abord voir les dimensions et les matériaux des pièces principales, avant de passer en revue l'intégration des différents éléments et le fonctionnement des systèmes mécaniques.

La mini-fusée Hésperus a été construite à partir d'un tube rond en aluminium de diamètre 60mm, d'une épaisseur de 1.5mm, pour une longueur de 95cm. Ce tube constitue le corps porteur de la fusée. Nous avons choisi cette structure en aluminium afin de garantir une solidité maximale tout en ayant la masse la faible possible. De plus, le faible diamètre de la fusée permet une bonne une pénétration de l'air et donc de diminuer la trainée de forme. Ce choix était pour nous évident afin de faire aller notre projet le plus haut possible.



Figure 2 : Représentation d'Hésperus sur le logiciel OpenRocket.

Du côté de nos ailerons, nous avons choisi d'en fixer quatre avec les dimensions suivantes : Une emplanture de 18cm, un saumon de 12cm et une flèche de 11.5cm, pour une envergure de 8cm. Pour les construire, nous avons également opté pour l'aluminium. En effet, nous avons choisi de souder les ailerons au tube afin d'avoir une grande solidité de l'attache mais aussi pour une esthétique propre de l'extérieur. Nous avons de ce fait, découpé nos ailerons dans une plaque de 2mm d'aluminium.

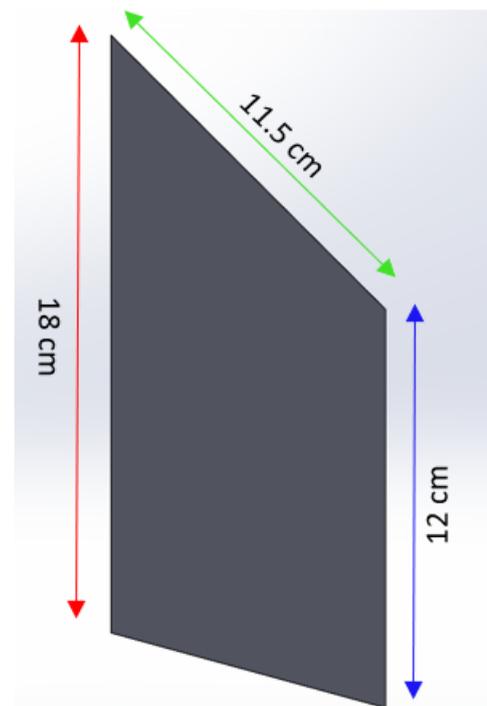


Figure 3 : Schéma avec côtes des ailerons présents sur la fusée

Nous venons de voir les composants du corps de la fusée, nous allons désormais nous intéresser à l'organisation interne de notre projet.

Hésperus se décompose en 4 grands compartiments. Le compartiment supérieur se compose, de la coiffe et de la carte électronique du parachute, il se situe tout en haut de la fusée. La section parachute juste en dessous comporte la trappe, le parachute et le compartiment de stockage du système de récupération principal. La troisième section dit le « compartiment

intermédiaire », se trouve vers le milieu de la fusée, elle contient la carte électronique des expériences ainsi que le système des aérofreins. Et enfin, la dernière partie qui se situe en bas est le compartiment moteur.

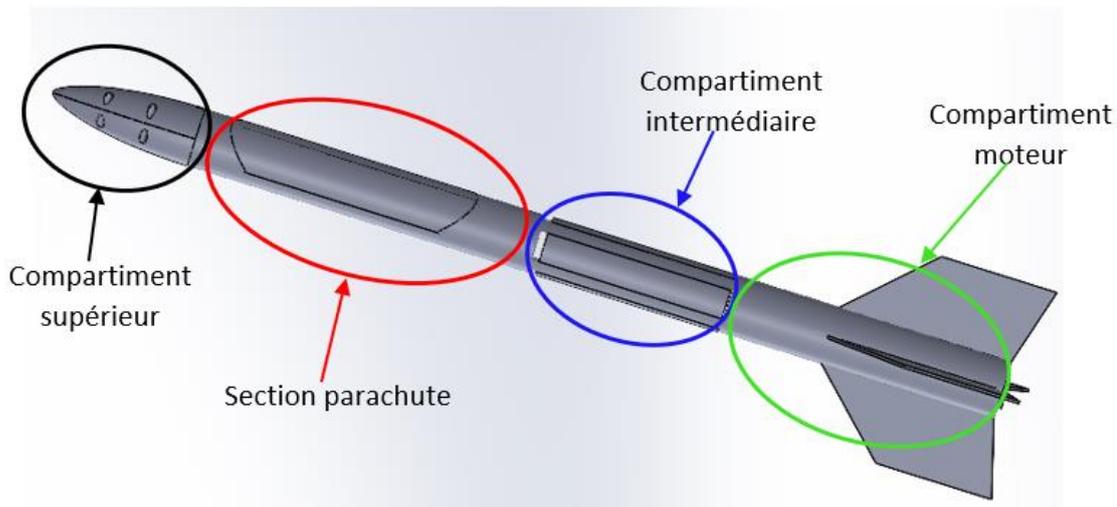


Figure 4 : Modélisation en 3D d'Hésperus représentant les différentes sections qui la compose.

Le compartiment supérieur :

Cette zone de la fusée est entièrement en PLA. Elle se compose de la coiffe, du rack électronique de la carte parachute, du module GPS et du système du parachute. La coiffe de 15cm s'ouvre à l'aide de quatre vis afin d'accéder aux différents éléments qui composent cette partie.

Tout en haut de la coiffe, on retrouve le module GPS qui est fixé sur un socle. Cet emplacement, permet au GPS de disposer des meilleures conditions de fonctionnement durant toute la durée du vol. Sur ce même socle juste en dessous, on retrouve les différents boutons qui permettent de gérer l'électronique de la fusée. Plus bas dans le compartiment, on retrouve le rack électronique de la carte parachute, le stockage des piles et la prise jack. Cet espace est accessible depuis la coiffe en enlevant deux vis qui maintiennent la coiffe avec cette partie. Et enfin, tout en bas, nous retrouvons le servo-moteur de la trappe du parachute ainsi que l'attache de celui-ci. Cette pièce permet ainsi la liaison entre le compartiment supérieure et la section parachute. Nous pouvons aussi noter la présence des deux LED sur la coiffe.

Finalement, cette zone mesure 22cm en comptant la coiffe et 13cm sans la compter.

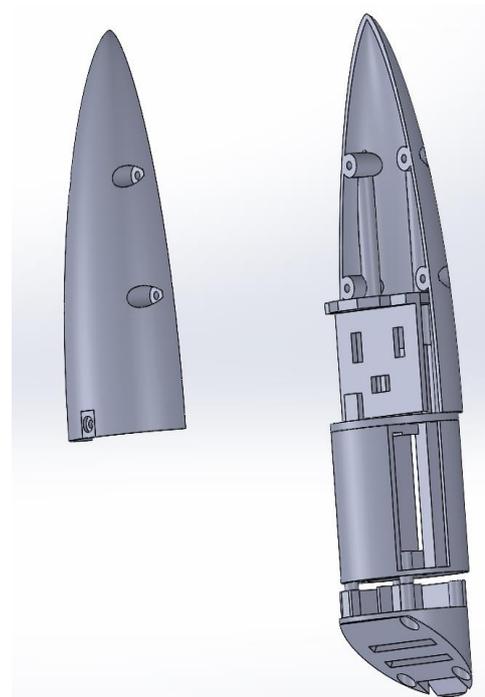


Figure 5 : Représentation 3D du compartiment supérieur.

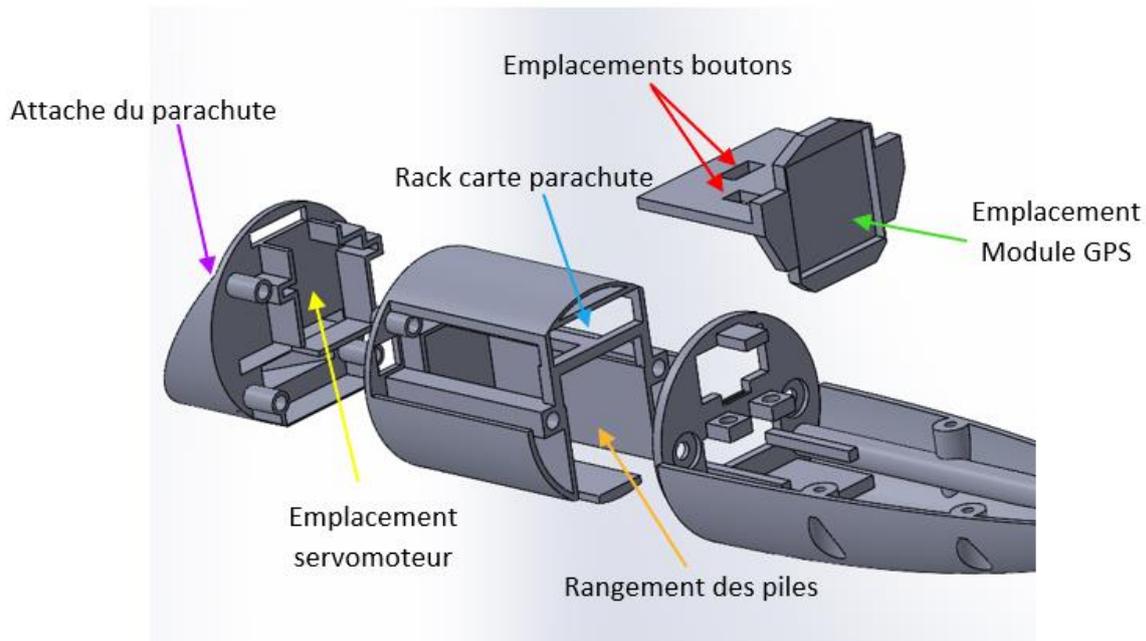


Figure 6 : Vue éclatée du compartiment supérieur.

La section parachute :

Ce compartiment ne comporte pas de partie mécanique puisqu'elle ne contient que le système de récupération, la trappe et les liaisons avec les compartiments supérieure et intermédiaire. La trappe tout comme le compartiment mesure 25cm de hauteur. Dans celle-ci, on retrouve un parachute en nylon de 60cm de diamètre ainsi que ses 8 suspentes de 150cm de long. Le parapente est fixé au compartiment supérieur à l'aide d'une sangle et d'un émerillon. De plus, le parachute dispose d'une bague anti-torche afin d'éviter que les suspentes ne s'emmêlent. Le trou de la trappe a été découpé directement dans le tube en aluminium. Elle est fermée par une trappe elle aussi imprimée en PLA afin de garantir la fermeture du compartiment.



Figure 7 : Modélisation 3D de la trappe et la section parachute.

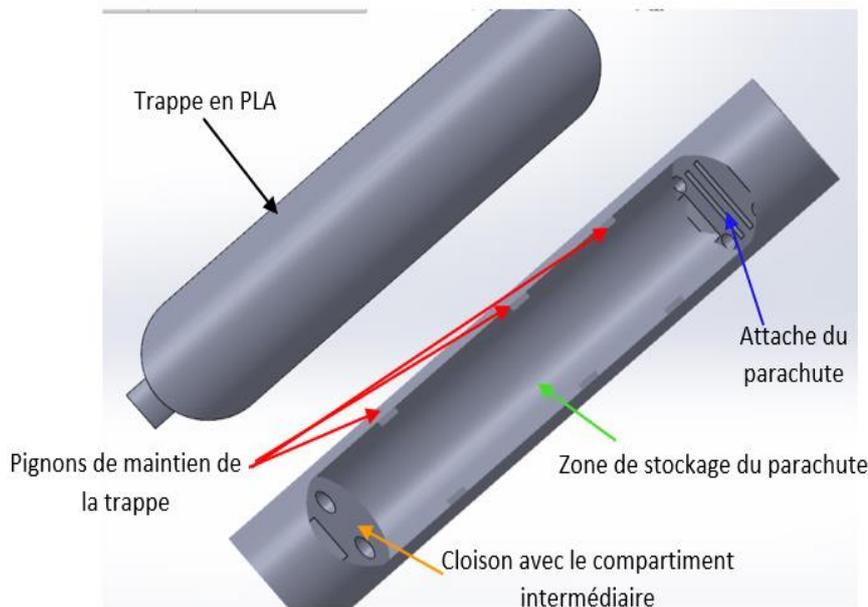


Figure 8 : Vue éclaté de la zone parachute.

Le compartiment intermédiaire :

Cette zone de la fusée est la plus complexe. En effet, elle contient le système d'ouverture des aérofreins et le rack électronique de la carte expérience. Ce sont tous deux de très gros systèmes imprimés en PLA. Le rack de la carte expérience se situe en plein milieu de cette zone et donc également au centre du système des aérofreins. Sa position stratégique permet de faire gagner énormément de place dans la fusée et donc de diminuer d'une dizaine de centimètres la hauteur d'Hésperus. Cependant, sa position est éloignée et difficile d'accès ce qui complique la connexion entre les deux cartes électroniques.

Du côté du système des aérofreins, on a un mécanisme divisé en deux parties. La partie supérieure est la zone d'attache des aérofreins. Elle permet de les maintenir en place tout en leur permettant de basculer. C'est également dans cette zone que passent les différents fils.

La partie inférieure du système permet quant à elle de maintenir et d'ouvrir les aérofreins. Cela se fait à l'aide d'une roue à plusieurs étages en quinconce. Ainsi, l'étage supérieur vient se loger dans une cale présente sur l'aérofrein afin de le bloquer tandis que l'étage inférieur fera office de levier pour pousser l'aérofreins en dehors de la fusée lorsque la roue tournera.

Pour finir, ce compartiment mesure 35 cm.



Figure 9 : Représentations du compartiment intermédiaire avec et le corps porteur.

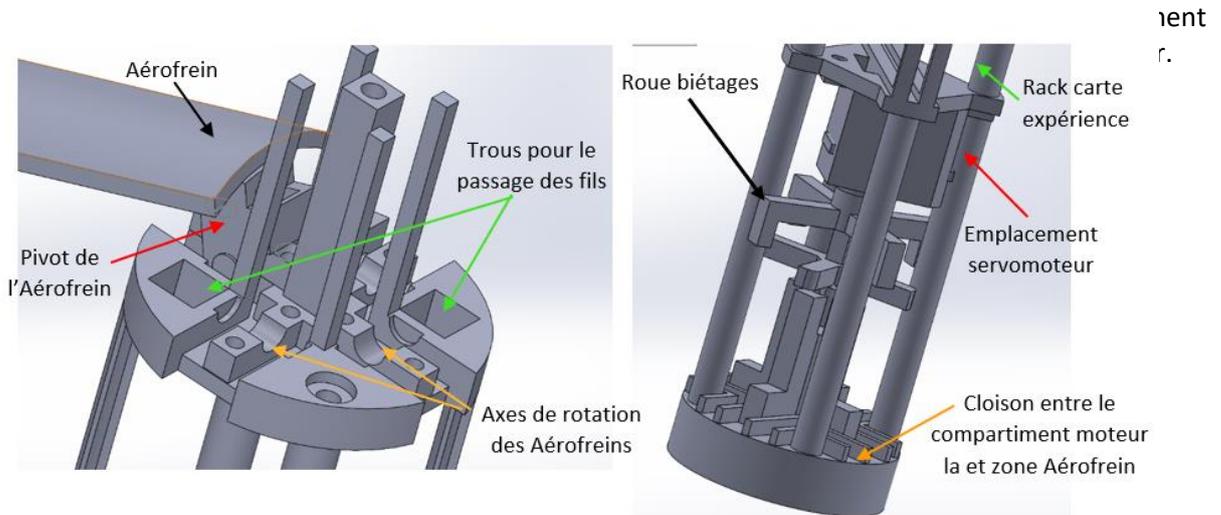


Figure 10 : Représentations des deux parties du système des Aérofreins.

Le compartiment moteur :

Le compartiment moteur est le plus important lors de la conception de la fusée. En effet, il doit être parfaitement dimensionné c'est-à-dire faire environ 23cm pour accueillir le moteur. De plus, il doit être résistant à la fois à la chaleur et à la force de poussée produites par le moteur. Pour répondre à toutes ces contraintes, nous avons choisi de fermer les deux extrémités de la zone par des bagues de rétention en aluminium de 4mm collées à l'époxy. De plus, afin de caler le moteur dans le compartiment, nous avons créé deux pièces en 3D une en haut et une en bas afin de faciliter la pose et le maintien du moteur. Pour finir, nous avons posé un crochet tout en bas de la fusée afin de retenir le moteur tout au long du vol.



Figure 11 : Représentation 3D du compartiment moteur.

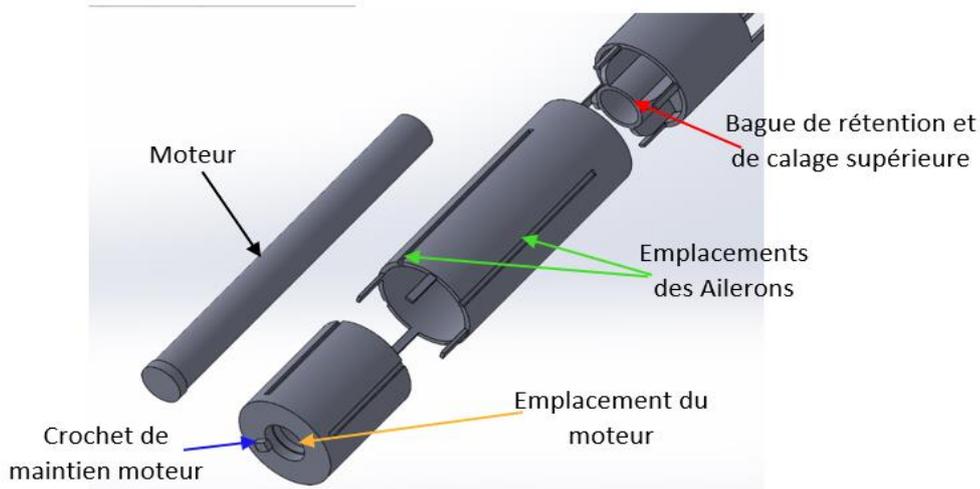


Figure 12 : Vue éclatée du compartiment moteur.

2) La conception électronique :

La partie sur la conception électronique sera séparée en deux grandes sections. La première portera sur le choix des composants adéquats aux objectifs à réaliser ainsi que leurs montages. La seconde sera une partie sur la programmation de ces différents composants. Nous abrégerons ces parties en hardware pour la première et software pour la seconde.

Nous allons débiter cette partie hardware en exposant le matériel que nous avons utilisé pour construire Hésperus. Pour réaliser notre projet, nous avons majoritairement utilisé le matériel de notre association. En effet, celle-ci disposait déjà d'une grande partie des composants que nous comptons utiliser.

Suite à notre choix d'intégrer des expériences à notre fusée, nous avons dû scinder notre électronique en deux parties bien distinctes : la carte parachute et la carte expérience. Chacune de ces parties est isolée électriquement de l'autre comme demandé dans le cahier des charges. Cependant, suite à des expériences, nous devons réaliser une communication entre les deux cartes. Pour cela, nous allons utiliser les ports de communication Rx et Tx à l'aide d'un optocoupleur. Ce module permet de transmettre des informations entre deux cartes sans les relier électriquement ce qui est parfait pour nous.

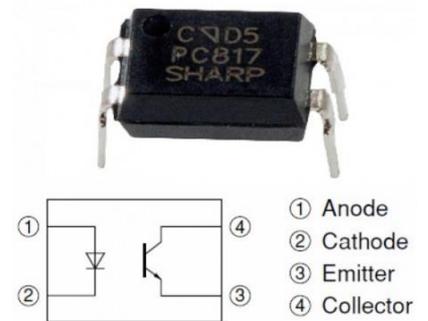


Figure 13 : Photographie et schéma électrique d'un optocoupleur.

Nous avons utilisé en guise de processeur deux cartes Arduino très petite en taille une nano et une every. La nano est utilisée comme carte parachute tandis que la every nous sert de carte expérience. Le choix de la carte Arduino every comme carte expérience s'explique par sa capacité de stockage. En effet, le stockage de l'Arduino nano ne nous suffisait pas pour téléverser notre programme regroupant nos expériences.

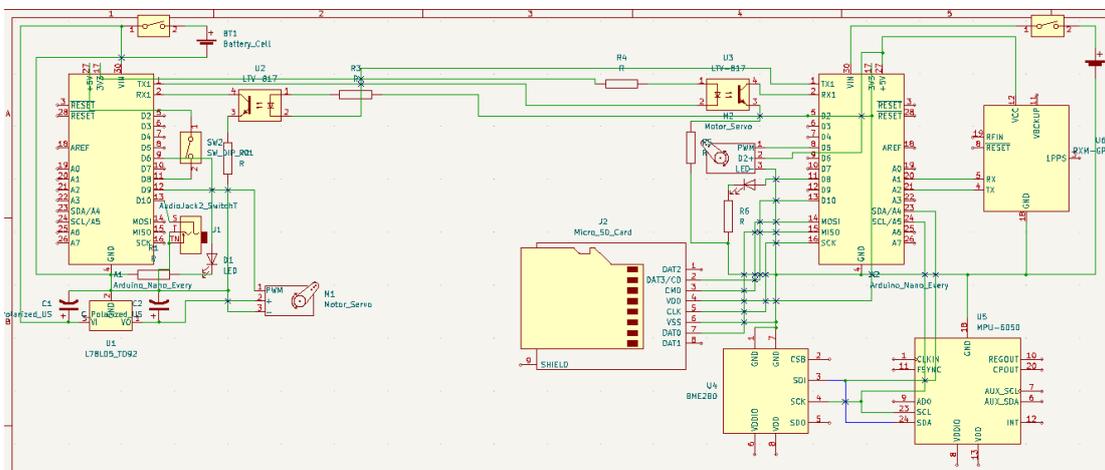


Figure 14 : Schéma fonctionnel des cartes séquenceur à gauche et expérience à droite.

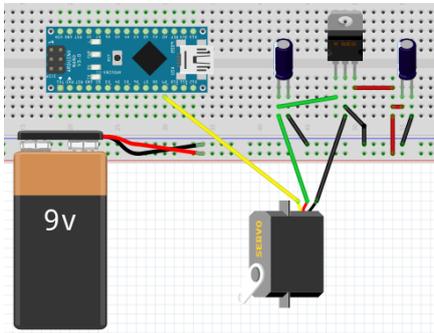


Figure 15 : Schéma électrique du pont régulateur de tension.

Nous avons également utilisé deux servomoteurs afin de mettre en mouvement les systèmes mobiles de notre fusée : la trappe du parachute et les aérofreins. Ces servomoteurs nous permettent de réaliser des déplacements précis mais nécessite la mise en place d'un régulateur de tension étant donné que la carte Arduino ne peut pas fournir suffisamment de puissance pour le faire fonctionner.

De plus pour réaliser nos expériences, nous avons intégré de nombreux modules à notre Hardware. Nous avons ainsi utilisé le baromètre MPU6050, le gyroscope et accéléromètre BME280, le module GPS Néo-6M ainsi qu'un lecteur de cartes SD pour stocker nos données.

Pour réaliser nos expériences, nous avons intégré de nombreux modules à notre Hardware. Nous avons ainsi utilisé le baromètre MPU6050, le gyroscope et accéléromètre BME280, le module GPS Néo-6M ainsi qu'un lecteur de cartes SD pour stocker nos données.

La détection du décollage est un élément essentiel dans la mise en route du programme sans celle-ci, le programme ne peut pas être lancé et la fusée effectue donc un vol balistique. Pour détecter le décollage, nous utilisons donc une prise jack qui quand elle se débranche court circuite la carte pour que le programme se lance.

A cela se rajoutent, deux LEDS imposées par le cahier des charges afin d'indiquer l'état de fonctionnement de la fusée, trois interrupteurs pour gérer l'alimentation de nos cartes et ouvrir la trappe du parachute, deux piles neuf volts pour alimenter les cartes, et deux optocoupleurs pour la communication.

Tous ces composants sont fixés ou reliés à l'aide de PCB que nous avons conceptualisé et fait faire par une entreprise externe. Ces cartes nous permettent ainsi un montage plus organisé et propre que des fils ou des breadboards.

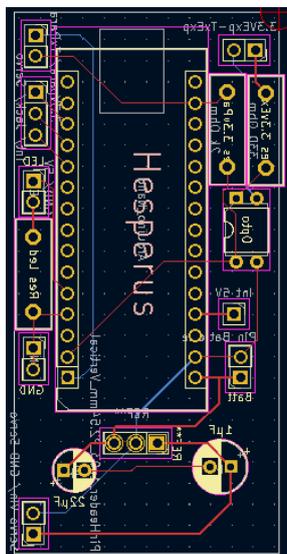


Figure 16 : PCB de la carte parachute.

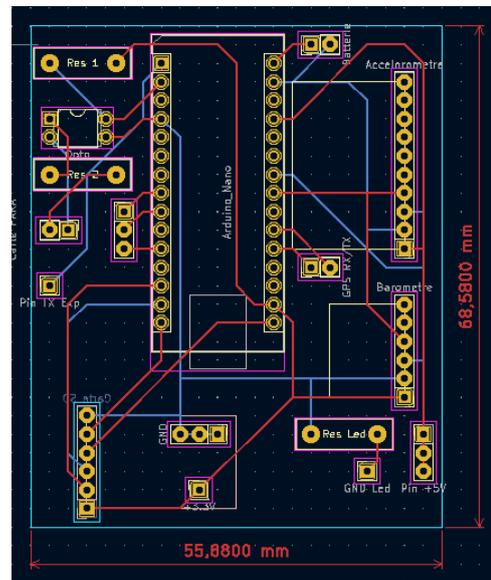


Figure 17 : PCB de la carte expérience.

La partie software quant à elle est assez simple dans son fonctionnement.

La carte expérience fonctionne de façon continue dès sa mise sous tension afin de relever toutes les données. Nous avons fait ce choix car le temps de correspondance entre les cartes nous aurait fait perdre bons nombres de données lors du décollage.

La carte parachute a pour fonction d'allumer une LED blanche clignotant de différentes manières en fonction d'où se trouve le programme. La carte expérience quant à elle est munie d'une LED bleue afin d'indiquer le bon fonctionnement de la carte et de son programme.

La carte parachute n'active son programme principal que quand elle en reçoit l'ordre. Cet ordre est donné lorsque la prise Jack se débranche lors du décollage. Une fois l'ordre reçu, une minuterie de sept secondes se met en route avant de lancer l'ouverture de la trappe par le servomoteur, durant se lapse de temps la LED blanche se mettra à clignoter. Toutefois, si la carte reçoit l'ordre du baromètre une seconde avant la fin de la minuterie, c'est cet ordre qui sera privilégié. Deux secondes après que la trappe se soit ouverte, la carte parachute envoi une commande afin d'activer l'ouverture des aérofreins gérés par la carte expérience. Cela marque la fin de la séquence de vol et les LEDS passent sur un mode d'allumage constant.

La carte expérience, elle, commence la récupération et l'écriture des données dès sa mise sous tension.

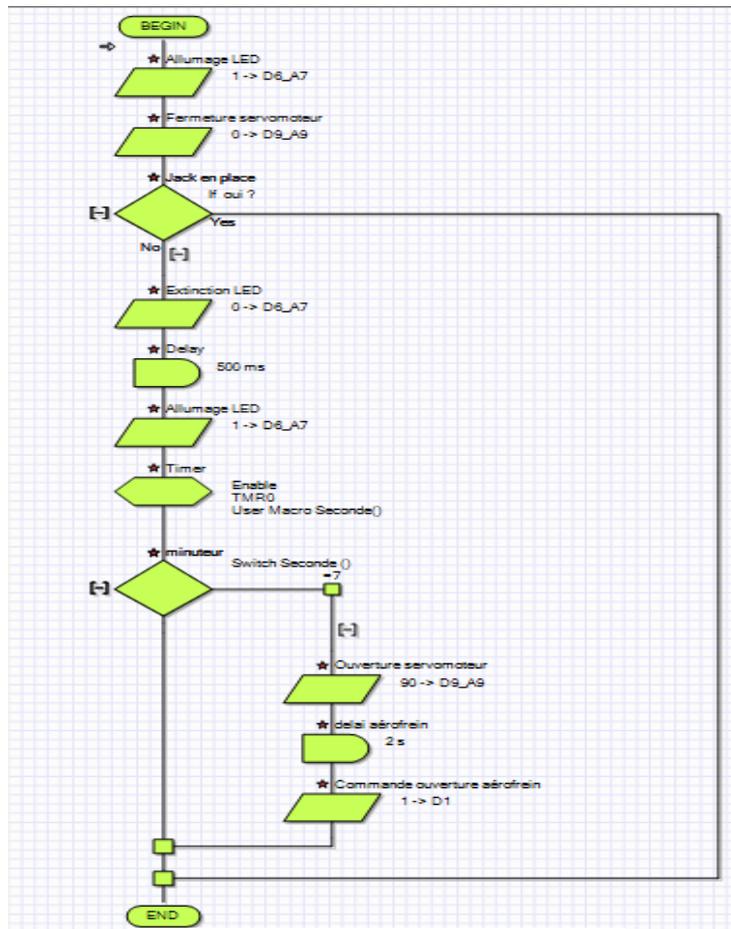


Figure 16 : Organigramme représentant le programme du séquenceur.



II/ Les expériences :

Nos ambitions pour cette fusée, au-delà de faire un simple vol nominal, était de faire de la récupération de données tout au long du vol afin d'avoir la possibilité d'en retracer le parcours. De manière plus précise nous voulions la faire pendant quatre phases : l'ascension, le déploiement du parachute, l'ouverture des aérofreins censés stabiliser et ralentir davantage la chute et enfin la phase au sol c'est-à-dire avant le décollage et après l'atterrissage. Pour cela, nous avons sélectionné différents modules afin de réaliser ces ambitions. Nous allons tout d'abord vous les présenter en vous expliquant leurs fonctionnements et leurs utilités avant de vous présenter les expériences qui ont finalement été réalisées.

A) Les expériences souhaitées :

- La mesure de l'altitude :

Pour récupérer les données d'altitude de notre fusée, nous avons choisi d'utiliser un baromètre. Celui-ci nous permet de récupérer la pression atmosphérique qui se trouve autour d'Hésperus durant la totalité du vol. Grâce à notre capteur barométrique prenant en charge les relevés d'altitude nous pouvons connaître cette dernière à tout moment du vol. De plus, la détection de l'altitude pourrait permettre d'ouvrir le parachute au moment où elle est maximale.

- Les forces subies par le système :

Durant le vol, notre fusée sera soumise à de très nombreuses forces. Cependant, nous avons choisi de nous intéresser uniquement aux forces gyroscopiques et aux accélérations. En effet, la mesure de ces forces nous permet d'estimer la vitesse de notre système ainsi que son roulis et ses inclinaisons. Pour les mesurer, nous installerons un accéléromètre muni d'un gyroscope dans l'électronique.

- La localisation de la fusée :

Dans l'optique de retracer le plus fidèlement le vol d'Hésperus, nous avons l'intention d'installer un module GPS dans notre coiffe. Ce module permet de positionner la fusée en temps réel grâce aux satellites. Ainsi, le module va se repérer à l'aide des signaux envoyés par ces sondes et écrire ses positions en trois dimensions. Ensuite, en récupérant ces données, nous pouvons vérifier l'altitude obtenue par le baromètre et retracer la trajectoire de la fusée.

- Ouverture d'Aérofreins :

L'ouverture d'Aérofreins est à la fois l'expérience la plus importante pour nous et la plus difficile à réaliser. En effet, pour être autorisé à lancer notre fusée avec ce système, nous devons nous assurer que l'ouverture n'est possible que par ordre de la carte expérience. Cela implique que les Aérofreins doivent être verrouillés en permanence par un système capable de résister à de grandes forces au décollage, tout en étant capables d'initier leur ouverture. C'est donc un système complexe qui devra être mis en place. Le but de cette expérience est de stabiliser la descente de la fusée et de mesurer la décélération qu'apporte ce genre de système à une fusée afin de potentiellement le mettre sur un autre projet plus gros si les résultats sont convaincants.

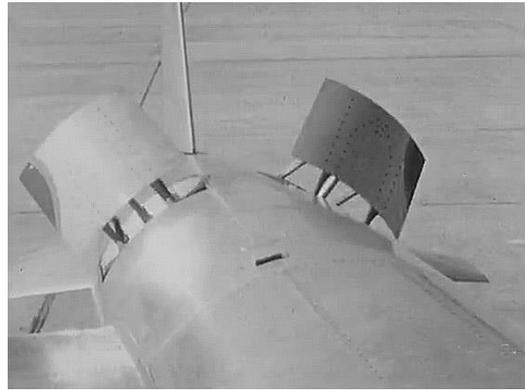


Figure 17 : Photographie d'aérofreins sur l'avion-fusée SO-9000.

B) Les expériences réalisées :

Presque toutes nos expériences seront réalisées durant le vol de notre fusée. Seules deux expériences seront abandonnées. Ces abandons sont dus à l'accumulation de différents retards et problèmes venant principalement de l'électronique. Nous avons ainsi été contraints de revoir les expériences que nous comptions mener à la baisse en retirant le GPS d'une part et nos aérofreins d'autre part. L'abandon du GPS est causé par des problèmes de fonctionnement et de programmation. En effet, nous avons appris tardivement que le module GPS se bloquerait pendant plusieurs secondes suites au décollage brutal de la fusée, or le vol ne dépassant pas les 30 secondes, celui-ci ne nous aurait pas permis de retracer correctement la trajectoire de vol. De plus, des problèmes de programmation ont fait que nous n'avons pas réussi à faire fonctionner le GPS comme souhaité. Du côté des aérofreins, l'abandon se justifie par deux raisons la première étant la sureté. En effet, nous voulions éviter tout problème d'ouverture non contrôlé qui risquerait de compromettre le bon déroulement de notre vol. D'autre part, nous avons jugé que la différence entre les résultats que nous obtiendrions avec ou sans les aérofreins ne serait pas aussi importante que nous l'espérions. Ces derniers étaient trop petits pour vraiment impacter la vitesse de chute.

III/ Déroulement du vol :

Nous allons enfin voir comment c'est dérouler le vol de notre fusée lors de cette édition du C'space. Nous passerons tout d'abord en revue les conditions météorologiques lors de notre vol. Puis, nous détaillerons le déroulement du vol. Et enfin, nous vous partagerons les données de nos capteurs acquises durant notre vol.

A) Les conditions météo lors du lancement :

La fusée Hespérus a été lancée le jeudi 21 juillet 2022, vers 13 heures et demies. Les conditions météorologiques étaient favorables. En effet, le temps nous offrait un ciel dégagé avec une vue à plus de dix kilomètres, un vent très faible d'environ 5 nœuds et aucun nuage n'étaient visibles. Nous étions donc dans un cas de CAVOK. De plus, nous avons relevé grâce aux capteurs de notre fusée une température moyenne de 31 degrés Celsius au sol et une pression de 1020 hectopascals également au sol.



Figure 8 : Photographie du Pas-de-tir juste avant le lancement.

B) Description du vol :

La fusée a décollé sans difficulté et n'aura subi presque aucun mouvement de rotation important durant son ascension, elle sera montée à une altitude d'un peu plus de 300 mètres : 312 à l'apogée. La descente, quant à elle, fut assez mouvementée, en effet la fusée dans sa chute fut contrainte de subir un fort roulis, avant de toucher le sol, aucun rebond n'a été observé. Le vol sera alors classé nominal par la direction et Hespérus aura finalement atterri à environ 400 mètres du pas de tir, n'ayant subi aucun dégât notable, seul le PLA aura gonflé sous la forte température et une longue exposition au soleil.



Hespérus en rampe juste avant le décollage



Décollage de la fusée



Descente sous parachute de MF23

Figure 9 : Photographies retraçant le vol de notre projet.



C) Résultats des expériences :

Les données que nous avons récupérées au cours du vol nous ont permis de connaître plusieurs aspects du vol de notre fusée.

Le premier est la hauteur que notre fusée a atteinte, on sait ainsi qu'elle a eu son apogée à une altitude de 650 par rapport au niveau de la mer. Or, nous savons que le pas-de-tir se situait à une altitude d'environ 332 mètres au-dessus du niveau de la mer grâce à l'acquisition des données avant le vol. Nous pouvons ainsi en déduire que notre fusée a atteint un apogée d'environ 318 mètres.

De même, nous avons récupéré les relevés de températures moyennes avant, pendant, et après le vol. Nous savons ainsi que la température minimale interne de la fusée était de 34 degrés Celsius pendant le vol tandis que sa température maximale qui est de 53 degrés a été atteinte durant la journée vers 15h.

Ensuite, nous avons relevé à l'aide du baromètre une variation de la pression suite à la prise d'altitude. Ainsi, nous avons détecté une perte puis un gain de 37 hectopascals. En mettant cette valeur en relation avec l'altitude atteinte par la fusée, nous retrouvons bien la valeur universelle de perte de pression qui est de 1hectopascal en moins tous les 9m d'altitudes. Ceci nous permet ainsi de vérifier que notre altitude est correcte.

Pour finir, grâce à la présence de l'accéléromètre nous avons pu déterminer la vitesse en sortie de rampe, la vitesse maximale et la vitesse de descente atteinte par la fusée. Ainsi, nous trouvons une vitesse maximale de $72.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ soit $260\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$. Pour une vitesse de sortie de rampe à $28.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, ce qui représente une vitesse d'environ $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Pour la descente, nous trouvons une vitesse de l'ordre des $15.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, soit $56\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$. Ainsi, de la même façon, nous trouvons une accélération verticale maximale retenue au décollage de $22.1\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.



Conclusion :

Selon nous, le vol nominal de notre projet est déjà une réussite. Mais en plus de cela, les expériences qui ont accompagné la fusée lors de son vol ont fonctionné parfaitement. Ce point est très important pour nous puisqu'il représente un moyen d'analyser les forces, les variations de pression et de température qu'a subie la fusée. Le projet est donc une belle réussite sur tous les points. Toutefois, le fait de ne pas avoir fait fonctionner les aérofreins nous laisse un gout amer de ce projet. En effet, ils étaient la raison principale du développement de celui-ci. Cependant, le fait de ne pas avoir réussi à tout faire nous a montré que les ambitions et la réalité sont très éloignées et que les projets trop ambitieux sont soumis à de très nombreux problèmes avant de fonctionner convenablement.

Finalement, ce projet aura été une très bonne expérience aussi bien sur l'apprentissage et le travail d'équipe que sur le plan Humain et social. En effet, ce projet nous a permis d'apprendre énormément de choses dans de très nombreux domaines, tout en rencontrant un tas de personnes formidables. Nous espérons pouvoir reparticiper à cette aventure extraordinaire et riche en réalisant un nouveau projet.



Remercîments :

Nous tenons à remercier notre club ELISA SPACE qui nous aura accompagnés tout au long de ce projet, ainsi que la CTCIA qui aura pris en charge la soudure de nos ailerons. Nous remercions également grandement Planètes sciences et ses bénévoles qui nous auront aidés de leurs mieux à chaque fois que nous rencontrions un problème, ainsi que pour leurs bienveillances. Enfin, nous remercions toute l'organisation du C'space sans quoi rien de cela n'aurait été possible.

Bibliographie et Nétographie :

Toutes les figures que vous pouvez voir dans ce rapport ont été réalisées par l'équipe d'Hésperus à partir de nos propres documents et photos. Seules deux illustrations ne sont pas de nous.

Figure 110 : Photographie et schéma électrique d'un optocoupleur. arduipianet.ma

Figure 111 : Photographie d'aérofreins sur l'avion-fusée SO-9000. viateurs.e-monsite.com, 2012

