



RAPPORT DE PROJET

MINI BERTHA

2024 – 2025

Timothée Droulers
Damien Goubault Gaubert
club Acelspace



SOMMAIRE

I - AVANT PROPOS

II - L'EXPÉRIENCE

- 1)vue globale de la fusée
- 2)Le contrôleur de vol
- 3)La carte arduino
 - a)le déclenchement de la partie haute
 - b)le système de sécurité et de rétrocontrôle
- 4)Enregistrement des données

III - DEROULEMENT DU VOL

IV - ANALYSE DU VOL

- 1)Causes de la séparation tardive des deux étages
- 2)Analyse des données du contrôleur de vol

V - REMERCIEMENTS



I - AVANT PROPOS : BREF RAPPEL DU PROJET

Le but de notre démarche avec ce projet était de tester un nouveau système de récupération, en utilisant non point un parachute mais un système inédit basé sur une hélice en rotation et déployable ainsi que des grid fins amovibles permettant d'orienter le flux d'air de l'hélice. Le but était de contrôler plus finement la redescente de la fusée en permettant de régler sa vitesse ou encore de choisir à l'avance le point d'atterrissage.

Pour mettre en œuvre ce projet nous avons décidé au vu de sa complexité de commencer par une minifusée et de séparer celle-ci en deux étages : seulement le deuxième étage redescendrait avec les hélices, allégeant ainsi le poids de celui-ci et donc la force nécessaire que devra fournir l'hélice. Le premier étage descendra quant à lui avec un système de récupération plus conventionnel à savoir un parachute sortant d'une trappe.

Notez que ce projet fait directement suite à celui de l'an dernier (Back to the Futur), où nous avons déjà testé un système de redescente sous hélices. Cependant il s'agit cette fois-ci d'une toute autre approche : une unique hélice fera descendre la partie haute au lieu de deux, et celle-ci ne serait plus positionnée à l'intérieur du fuselage mais au sommet de l'ogive pour maximiser l'air brassé. Pendant la phase ascendante, elle sera donc repliée le long de l'ogive et se déploiera pendant la redescente sous l'effet de la force centrifuge (reprenant le principe d'une hélice de motoplaneur).

II - L'EXPÉRIENCE

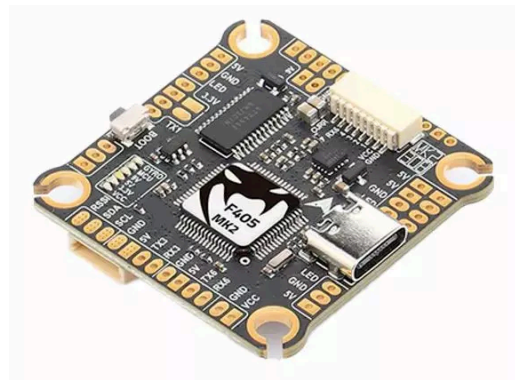
1) vue globale de la fusée



La fusée est donc composée de deux parties qui se sépareront 1 seconde avant l'apogée pour que la partie haute soit toujours orientée verticalement lors de la mise en rotation de l'hélice. La partie basse contient l'emplacement du propulseur, le compartiment de son parachute et une minuterie analogique qui déclenchera le système de séparation des deux étages ainsi que l'ouverture de la trappe du parachute. La partie supérieure, en plus de l'hélice au sommet de l'ogive, possède 4 grid fins orientables contrôlés par des servomoteurs. Ils permettent d'assurer la stabilité de la partie haute durant la redescente sous hélice et sont bloqués mécaniquement par des tiges en métal durant la phase d'ascension. La partie haute contient également un parachute de secours au cas où les hélices ne parviennent pas à freiner suffisamment durant la phase de redescente.

2) Le contrôleur de vol

Pour piloter l'hélice et les grid fins, nous avons fait le choix d'utiliser la carte Diatone Mamba F405MK2. Cette carte électronique est à la base un contrôleur de vol pour drone (Flight Controller) et intègre un gyroscope/accéléromètre MPU6000, un processeur STM32F405 et un espace mémoire de 16MB. Nous avons fait le choix d'utiliser celle ci couplée au firmware beta flight pour plusieurs raisons : elle rassemble les composants nécessaires au projet sur une même carte et l'utilisation du firmware Beta Flight, que nous avons entièrement reconfiguré pour notre cas, a permis d'éviter de programmer entièrement le contrôle rétroactif des grid fins, ce qui aurait été extrêmement complexe autrement. Nous nous sommes notamment inspirés de ce projet pour effectuer nos réglages :



<https://hackaday.io/project/175512-the-ball-drone-project-mk-ii>.



3) la carte arduino

Cependant, nous n'avons pas pu utiliser le contrôleur de vol seul puisque celui-ci demande obligatoirement une entrée (normalement un récepteur de radiocommande) qui lui transmet la vitesse de rotation du moteur et l'orientation (roll pitch yaw). Nous avons donc connecté un arduino nano au contrôleur de vol pour simuler un récepteur radio. Celui-ci est également chargé de gérer toute la temporisation et le parachute de secours.

a) déclenchement de la partie haute

Cet arduino est en effet équipé d'un interrupteur à lamelle positionné de la sorte à ce qu'il détecte la séparation des deux étages. Il est en quelque sorte le déclencheur du système. Les hélices sont mises en rotation 0,75 secondes après la détection de la séparation pour éviter toute collision avec le parachute de la partie basse. Elles augmentent progressivement leur puissance pour atteindre 70 pourcent au bout d'environ 1,7 seconde.

b) système de sécurité et de rétrocontrôle

l'arduino est également doté d'un capteur de pression atmosphérique bmp180 qui lui permet d'obtenir la vitesse verticale en instantanée. Il peut grâce à cette donnée exercer un rétrocontrôle sur la puissance du moteur : si la vitesse verticale excède 15m/s, l'arduino envoie l'ordre d'augmenter petit à petit la puissance du moteur , et inversement si la vitesse est inférieure à 5m/s. Puis si la vitesse dépasse les 15m/s même après avoir mis la puissance du moteur au maximum, la carte déclenche l'ouverture de la trappe pour libérer le parachute de secours et envoie l'ordre d'arrêter le moteur



4) Enregistrement des données

Pour l'enregistrement des données, nous avons fait le choix d'utiliser uniquement la black box du contrôleur de vol de 16MB, ce qui était entièrement suffisant. Cela permettait de ne pas complexifier le projet et de réduire l'encombrement de la partie haute. En contrepartie, seul la puissance du moteur et les données de la centrale inertielle ont été enregistrés , et ce uniquement sur la durée d'activation du moteur de l'hélice. Nous avons jugé que cela était suffisant pour cette expérience, l'altitude et la vitesse n'étant pas directement nécessaire pour analyser ses résultats.

III - DÉROULEMENT DU VOL



Le vol s'est déroulé le 10 juillet 2025 dans la matinée en zone fusex à cause du manque de stabilité de la fusée du à sa forme atypique et au système de récupération non conventionnel. Nous avons rencontré une petite panne lors de la réalisation de la chronologie qui à rapporté le vol d'environ 40 minutes pour nous laisser le temps d'effectuer les réparations nécessaires.

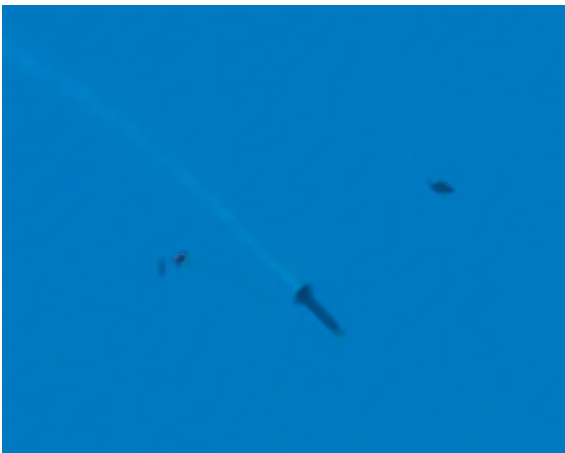
Le vol à été nominal. Cependant la séparation des deux étages s'est déroulée trop tardivement, ce qui fait que la fusée était déjà en position

presque horizontale lorsque celle-ci a eu lieu. La partie haute s'est alors retrouvée orientée vers le bas lors de la mise en rotation de l' hélice ,ce qui lui a empêché de ralentir efficacement. Le parachute de sécurité s'est alors ouvert dès que le système a détecté une vitesse de chute de la partie haute supérieure à 15 m/s, soit environ 5 secondes après la séparation. Le parachute de secours a fait une semi-torche mais a suffisamment ralenti la partie haute pour pouvoir la récupérer en bon état. Le système de récupération de la partie basse à quant à lui été entièrement opérationnel.



voici une chronologie du déroulement du vol que nous avons essayé de rendre la plus fidèle possible :

- t_0 : décollage de la minifusée
- $t+6.25s$: la fusée atteint son apogée
- $t+6.5s$: séparation des deux étages
- $t+7.25s$: mise en rotation de l'hélice du deuxième étage
- $t+12.5s$: arrêt des hélices suivit rapidement du déploiement du parachute de secours
- $t+25s$ atterrissage de la partie haute
- $t+30s$: atterrissage de la partie basse



< Quelques dixièmes de secondes après la séparation : la partie basse vient d'ouvrir son parachute et la partie haute active l'hélice



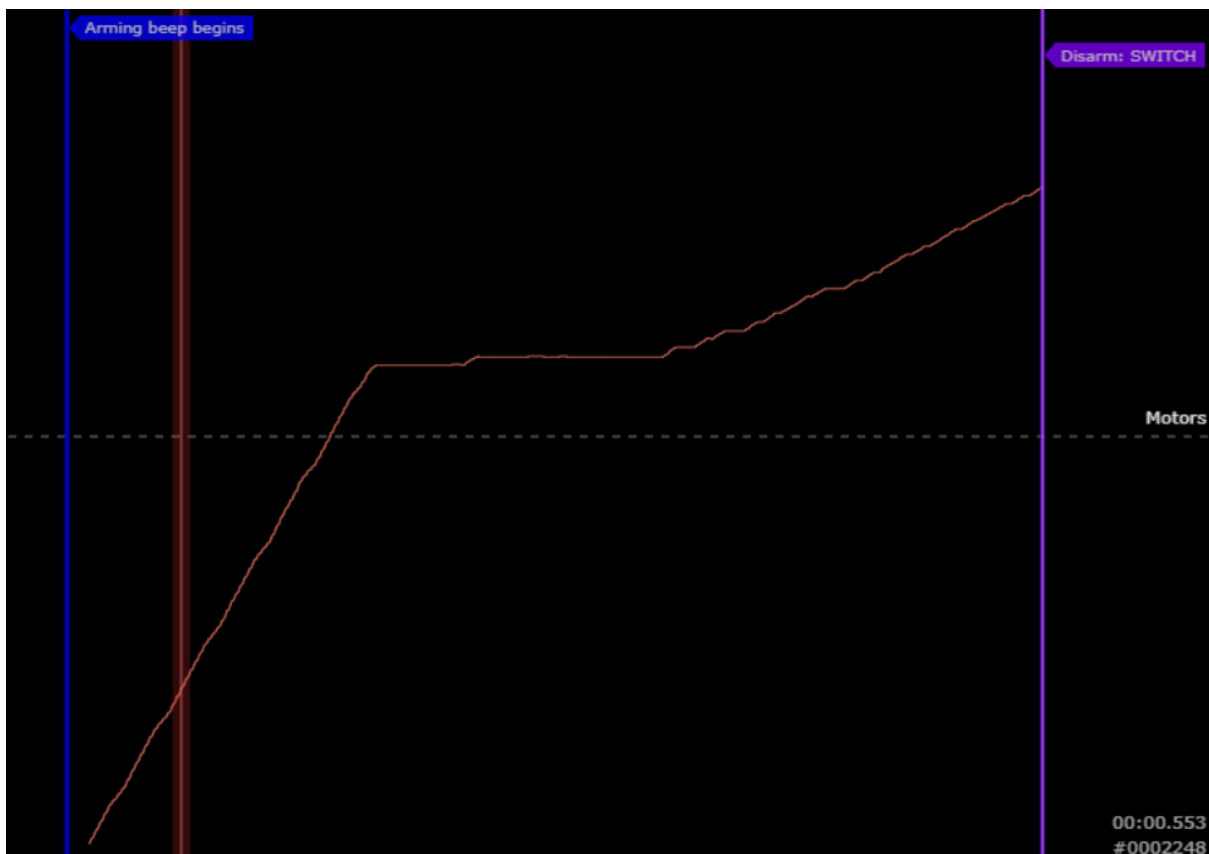


IV - ANALYSE DU VOL

1) Causes de la séparation tardive des deux étages

Nous avons attribué la cause du déclenchement tardif du système de séparation au mauvais réglage du moteur chargé de libérer la partie haute, qui devait faire un $\frac{1}{2}$ tour pour déclencher la séparation et rendait le délai entre l'ordre provenant de la minuterie et la séparation réelle approximatif. Le délai entre le décollage et l'apogée donné par le logiciel stabtraj, à partir duquel nous avons réglé la minuterie, était également légèrement supérieur au délai réel, ce qui a pu être aussi un facteur de la séparation tardive des deux étages. Nous prendrons en compte ces différents éléments pour nos projets à venir, en particulier la nécessité d'un système de séparation répondant de manière immédiate et moins approximative.

2) analyse des données du contrôleur de vol





Voici le graphique issu de la blackbox du contrôleur qui montre la puissance du moteur en fonction du temps (qui induit donc la commande qu'a reçu le contrôleur de vol de l'arduino). Notez comme précédemment dit que ce graphique va uniquement de l'activation de l'allumage de l'hélice ($t + 7,25$ s) à l'activation du système de sécurité ($t + 12,5$). Il s'agit du seul graphique réellement exploitable que nous avons obtenu, ceux de la centrale inertielle étant trop bruités.

Nous pouvons diviser ce graphique en trois parties : La première , allant de 0 à 1,7 secondes correspond à la mise en rotation progressive de l'hélice. Puis de 1,7 à 3,4 secondes, la puissance du moteur reste constante vers 70 % . Durant cette phase, la partie haute a donc encore une vitesse de chute inférieure à 15m/s et les hélices tournent à leur régime normal. Enfin, de 3,4 à 5,7 secondes, la partie haute dépasse les 15 m/s dû. Nous observons alors que le système de rétrocontrôle tente d'augmenter la puissance du moteur pour compenser cette trop grande vitesse, mais cela n'est pas efficace puisque la partie haute est orientée vers le bas et que les hélices ne freinent donc plus rien. Ayant atteint une puissance de moteur de 100 %, le système de rétrocontrôle coupe le moteur (Disarm : SWITCH sur le graphique) et active l'ouverture de la trappe qui fait sortie le parachute de secours

3) Conclusion

Pour conclure, le vol s'est déroulé dans un scénario que nous avons anticipé, et a été doublement nominal puisque le système de contrôle de la partie haute a réagi exactement comme prévu en suivant les mesures de mise en place. C'est donc de ce point de vue une réussite. Nous sommes néanmoins déçus de ne pas avoir pu tester réellement l'efficacité de la redescende sous hélice puisque celle-ci a été compromise par la mauvaise orientation de la fusée après la séparation. Nous espérons reporter cela pour un futur projet.



V - REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le CNES et Planètes Sciences pour l'organisation du C'Space 2025 ainsi que le 1er RHP pour leur accueil sur le camp de Ger.

Merci particulièrement à Roger et Sylvain pour leur investissement dans le club fusée AcelSpace, leur aide pour surmonter les difficultés rencontrées et les conseils apportés tout au long de l'année.