

Minifusée Mnemonus

Hugo Allaire, Anatole Boudard, Charles Pilon, Vianney Saadetian,
Nicolas Thierry

Air ESIEA & SIERA - 2024



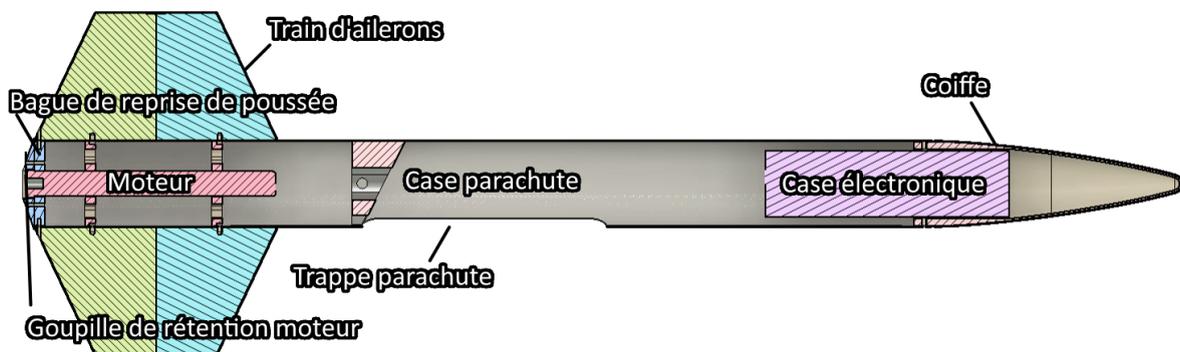
Mnemonus est une minifusée visant à tester en condition réelles un ordinateur de vol modulaire basé sur le microcontrôleur RP2040 ainsi qu'un corps en composite stratifié développé en interne.

1. Introduction

Mnemonus est une minifusée expérimentale réalisée par Air ESIEA et SIERA, deux associations de l'ESIEA et de l'ESTACA dans le but de tester en conditions réelles un prototype d'ordinateur de vol modulaire basé sur le microcontrôleur RP2040 de Raspberry Pi.

L'équipe composée par des membres des deux associations s'est répartie en deux pôles, l'un travaillant sur la mécanique et la récupération de la fusée, l'autre sur l'élaboration de l'ordinateur de vol, expérience principale du projet. L'idée de cette expérience est venue à la suite d'une campagne de lancement amateur

2. Description mécanique



Mnemonus est une fusée à peau porteuse faite d'un matériau stratifié de fibre de verre. Le corps de la fusée est fait "d'un seul bloc" et aucune vis n'est apparente. Les ailerons sont fabriqués à partir d'une matrice en PLA léger recouvert de fibre de verre, ce qui les rend plus épais mais augmente aussi leur résistance.

STABILITO

Stabilité de fusée à ailerons

Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	Mnemonus
Club	Air ESIEA
Type	Minifusée
Masse	1620 g sans propu
Centre de Masse	643 mm sans propu
Longueur totale	1070 mm

Propulseur	
Type	Pandora (Pro24-6G BS)
Position du bas	1070 mm

Coiffe	
Forme	Ogivale (pointue)
Hauteur	240 mm
Diamètre	88 mm

Ailerons	
Mono-empennage	
Emplanture 'm'	230 mm
Saumon 'n'	115 mm
Flèche 'p'	50 mm
Envergure 'E'	120 mm
Epaisseur 'ep'	8 mm
Nombre	4
Position du bas	1070 mm

Commentaire libre :

Language/Langue Français

Fusée mono-diamètre,

	Propu plein	Propu vide	Sans propu
Masse propu	0,16 kg	0,084 kg	-
CdM propu	114 mm	114 mm	-
Masse fusée	1,78 kg	1,704 kg	1,62 kg
CdM fusée	671 mm	658 mm	643 mm

	XcP	Cna
Coiffe	112 mm	2,0
Ailerons	907 mm	17,0

22/09/2024	Min	Résultats	Max
Finesse	10	12,2	20
Portance	15	19,0	19,0
Marge Stat	1,5 D	1,73 D	1,87 D
Couple	30	32,9	35,6
XcP		823 mm	823 mm
MS /L		14% L	15% L

STABLE

Checksum : propu OK v3.4.2

La récupération s'effectue par la libération d'un parachute éjecté latéralement via une trappe découpée à même le corps de la fusée. Le parachute est fait main, c'est un parachute hémisphérique ce qui nous permet de le rendre plus petit et donc de le faire passer à travers une trappe plus fine, qui fragilise moins le corps de la fusée (et l'allège marginalement). La trappe est reliée au haut du parachute pour l'entraîner avec elle dans sa chute lors de son éjection et faciliter son extraction.

Les cartes électroniques sont fixées sur un support en PLA basique avec du scotch double face ou bien clipsées en place. Le tout est rendu accessible à travers une petite trappe sur le côté de la fusée, bouchée par une pièce d'acrylique transparente qui permet de voir les LEDs témoins sans ouvrir la fusée, même en plein soleil.

3. Description électronique et informatique

Le séquenceur de la fusée est basé sur un microcontrôleur RP2040 programmé en MicroPython. Une implémentation a été faite en Rust mais faute de pouvoir la tester suffisamment, le prototype en MicroPython a été gardé pour le vol.

Le séquenceur mesure la pression atmosphérique grâce à un baromètre BMP280. Au démarrage du programme, il garde en mémoire la première mesure de pression et s'en sert comme référence d'altitude. Une fois le seuil de 15m d'altitude relative dépassé, la fusée considère qu'elle a décollé. Ce seuil a été déterminé comme suffisant pour filtrer les changements de pression atmosphérique liés à la météo et au vent.

En attendant le décollage, le séquenceur enregistre les 100 dernières mesures du baromètre dans un buffer circulaire sur la RAM. Dès le décollage détecté, il enregistre d'un coup ce buffers et les mesures suivantes dans la ROM Flash, grâce à cela, aucune mesure entre 0 et 15m n'est perdue.

Pendant le vol, le séquenceur mesure 70 fois par seconde la pression atmosphérique, il calcule la dérivée de l'altitude pour obtenir la vitesse ascensionnelle. La moyenne glissante des 20 dernières mesures de vitesses ascensionnelle est calculée. Si cette moyenne passe en dessous de +3 m/s il déclenche l'ouverture de la trappe parachute via un servomoteur. Ce seuil de +3 m/s est là pour anticiper légèrement l'apogée afin de pallier au retard induit par la moyenne glissante et au délai mécanique de l'ouverture. Cet algorithme a été testé avec succès sur 26 mini-fusées au cours de l'année.

Pendant tout le vol, le deuxième cœur de la RP2040 s'occupe d'enregistrer sur une ROM Flash les données d'altitude et de vitesse ascensionnelle pour obtenir un graphique d'altitude.

Le séquenceur était alimenté avec une batterie Lipo mono-cellule (3.7V) de 400 mAh. La RP2040 était alimentée directement avec les 3.7V mais un convertisseur boost était utilisé pour alimenter le servomoteur (MG90S) en 5V.

4. Déroulement du projet au C'Space et conclusion

Ce projet étant un projet secondaire pour l'intégralité de l'équipe tout au long de l'année et le développement a donc pris du retard. De plus, une seule personne a pu venir pour travailler sur le projet à temps plein pendant le C'Space

a. Mécanique et aérodynamique

La fusée était terminée structurellement mais manquait de réflexion quant à sa mise en œuvre au niveau de l'intégration de l'expérience. En effet, le design monobloc sans vis manquait cruellement de démontabilité pour permettre l'intégration de l'électronique et l'ajustement de la stabilité nécessaire au vol. Le diamètre de la fusée, plus grand que prévu, a modifié le centre de poussée aérodynamique modifiant la marge statique et ainsi le coefficient de stabilité de la fusée. Celle-ci nécessitait donc un alourdissement au niveau du nez pour corriger cette marge statique, mais compte tenu de son design mécanique cette zone de la fusée était très difficilement accessible.

Un autre souci rencontré était la taille de la trappe d'éjection du parachute. Celle-ci était bien trop étroite et profonde pour permettre une éjection aisée du parachute lors du vol. Nous avons dû ajouter de la mousse pour réduire sa profondeur mais la largeur n'a pas pu être modifiée.

b. Electronique et programmation

Une fois arrivé au C'Space, l'électronique était quasiment finie mais aucune programmation de l'ordinateur de bord n'avait été effectuée. L'intégralité de la programmation de l'expérience a dû se faire sur place, et compte tenu du temps limité certaines fonctionnalités de l'ordinateur de bord ont dû être abandonnées. Initialement l'ordinateur de bord devait récupérer les données barométriques de la minuterie ainsi que les données d'un module GPS et les envoyer par LoRa à une station sol ainsi que les enregistrer sur une carte SD à bord agissant comme une boîte noire.

Des problèmes de compatibilité avec la carte SD ont empêché son utilisation donc

l'enregistrement des données de vol de l'ordinateur a été rabattu sur la mémoire flash de 16Mo intégrée à la carte. Le module LoRa, bien que connu n'avait jamais été interfacé avec ce type de microcontrôleur auparavant et des potentiels problèmes de compatibilité ont été rencontrés mais impossible de les résoudre dans un temps aussi limité, il a donc été également abandonné.

Le seul module restant et fonctionnel du vol était le module GPS donnant une position GPS toutes les secondes, qui était ensuite enregistrée en local sur la flash de l'ordinateur.

c. Vol et résultats

Le vol a été qualifié de nominal par une sortie de parachute autour du moment attendu et un ralentissement significatif montrant le bon fonctionnement de la minuterie lors du vol.

Cependant après récupération de la fusée nous avons pu constater une séparation de la coiffe de l'ensemble du corps de la fusée, ainsi qu'une descente dans le nez de la fusée de l'intégralité de l'électronique. Le rack avionique en PLA soutenant toutes les cartes électroniques a cédé suite à l'impact de l'atterrissage. De plus, les données de bord des cartes étaient totalement irrécupérables et corrompues probablement à cause du choc trop brutal de l'atterrissage.

Ce choc à l'atterrissage peut être expliqué par une sortie tardive du parachute probablement dûe à la trappe trop étroite ainsi que la faible taille du parachute. La tenue mécanique du rack électronique est probablement aussi à revoir car celui-ci a tenu dans la fusée mais s'est séparé en deux lors du choc libérant les PCB.

Pour conclure ce projet était très enrichissant et bien qu'il se solde par un manque de données de vol, il a tout de même pu qualifier officiellement la minuterie barométrique développée par SiERA grâce à ce vol nominal. Le fonctionnement du module de HUB basé sur RP2040 de l'ordinateur de bord modulaire était également fonctionnel en amont du vol bien qu'il n'ait pas pu être correctement qualifié sur ce lancement. Ce projet a également permis d'acquérir une expérience indispensable sur le fonctionnement du C'Space permettant de mettre en œuvre des projets plus complexes avec une meilleure préparation préalable dans le futur.