

FUSEX PLUME 23

Rédacteurs document de fin de projet : DUCOMMUN Baptiste
LANTOURNE Emy

Résumé : Plume 23 est une fusée expérimentale du NAASC conçue, réalisée et opérée par des étudiants de différentes écoles, avec le soutien d'AJSEP. Ses objectifs sont de former les étudiants à la relation client/fournisseur propre à l'entreprise, réaliser un vol nominal lors de la campagne annuelle du Cspace, et de monitorer et valider le système de récupération basé sur l'éjection d'un parachute, par la mise en œuvre et la surveillance continue de ce système lors d'un vol nominal.



Table des matières

1- Introduction.....	3
a. Contexte.....	3
b. Organisation.....	3
c. Organigramme.....	4
2- Description mécanique.....	5
a. Description générale.....	5
1_ Aperçu générale.....	5
2_ Répartition des éléments.....	5
3_ Systèmes mécaniques majeurs.....	7
b. StabTraj & forme des ailerons.....	11
c. Système de récupération.....	14
3- Description électronique et informatique.....	15
a. Description générale.....	15
b. Système de récupération.....	15
1_ Aperçu générale.....	15
2_ Fonctionnement.....	17
c. Partie monitoring.....	18
1_ Aperçu générale.....	18
2_ Fonctionnement.....	19
d. Télétransmission.....	21
1_ Aperçu générale.....	21
2_ Fonctionnement.....	21
e. Caméras.....	23
1_ Aperçu générale.....	23
2_ Fonctionnement.....	24
f. Cordée de la réussite.....	24
g. Alimentations.....	24
4- Expériences.....	25
a. Objectif.....	25
b. Paramètres.....	25
c. Étalonnage et estimations.....	25
5- Déroulement du vol.....	26
a. Paramètres de vol.....	26
b. Vol.....	26
c. Récupération.....	27
6- Résultats.....	27
a. Exploitation et analyse.....	27
b. Estimations et imprécisions.....	28
7- Conclusion.....	28
8- Remerciements.....	28

1- Introduction

a. Contexte

Le projet Fusex PLUME 23 est développé par le NAASC, le Centre Spatial Académique de Nouvelle-Aquitaine, ainsi que l'AJSEP.

Quatre écoles ont participé à la réalisation de la fusée :

- l'ISAE ENSMA avec le club ESP ;
- les Arts et Métiers (ENSAM) à Talence au travers d'un projet d'étude ;
- l'ESTIA lors d'un projet étudiant également ;
- l'ENSPIMA par le biais de deux stagiaires.

De plus, le lycée Gustave Eiffel de Bordeaux a également contribué au projet au travers de la Cordée de la Réussite.

Ce projet s'inscrit dans une suite de fabrication de fusées expérimentales pour aboutir à un projet plus large, mettant en scène le test et la certification d'un moteur biliquide conçu par l'ENSMA lors d'un vol nominal horizon 2024.

Suite à la perte de la fusée PLUME 22 lors du précédent CSpace, la cause restant indéterminée, le projet Fusex PLUME 23 se concentre sur la mise en œuvre et l'observation continue du système de récupération de la fusée, à l'aide d'un certain nombre de capteurs, des enregistrements permanents sur cartes SD, ainsi que de la télétransmission tout au long du vol.

b. Organisation

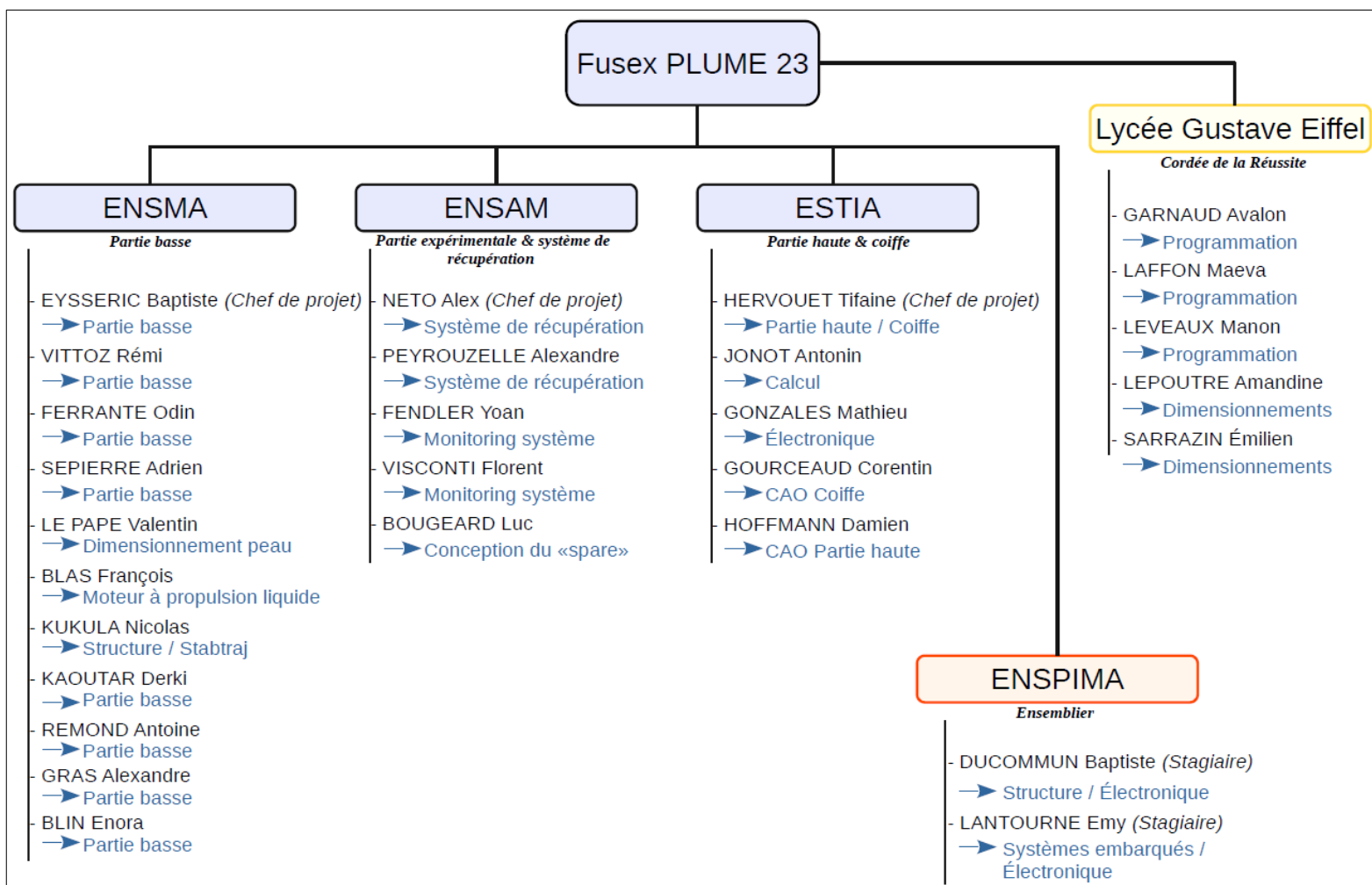
Le projet a été divisé en différentes parties dont la responsabilité a été répartie entre les différentes écoles (figure 1) :

- ENSMA → Partie basse ;
- ENSAM → Système de récupération ;
→ Partie expérimentale ;
- ESTIA → Partie haute ;
→ Coiffe ;
→ Masse morte.

Suite à des retards, deux stagiaires de l'ENSPIMA ont été recrutés pour tenir le rôle d'ensemblier et mener le projet jusqu'au CSpace.

Pour assurer la coordination entre les différentes écoles, des réunions ont été organisées avec une fréquence de deux semaines environ. De plus, un suivi encadré des étudiants a également été mené par le biais de revues de projet.

c. Organigramme



2- Description mécanique

a. Description générale

1_ Aperçu générale

La fusex est une fusée mono-étage à 3 ailerons d'une longueur de 1,8 m.

Sa peau, porteuse, est en composite (carbone/époxy), fabriquée par drapage en voie humide pour la partie haute. Elle mesure environ 1 m de long pour un diamètre intérieur de 125 mm et un diamètre extérieur de 129 mm.

La partie basse, quant à elle, est un tube (dimensions) usiné en aluminium de 0,5 m de long pour des diamètres intérieur et extérieur respectivement de 126 mm et 130 mm.

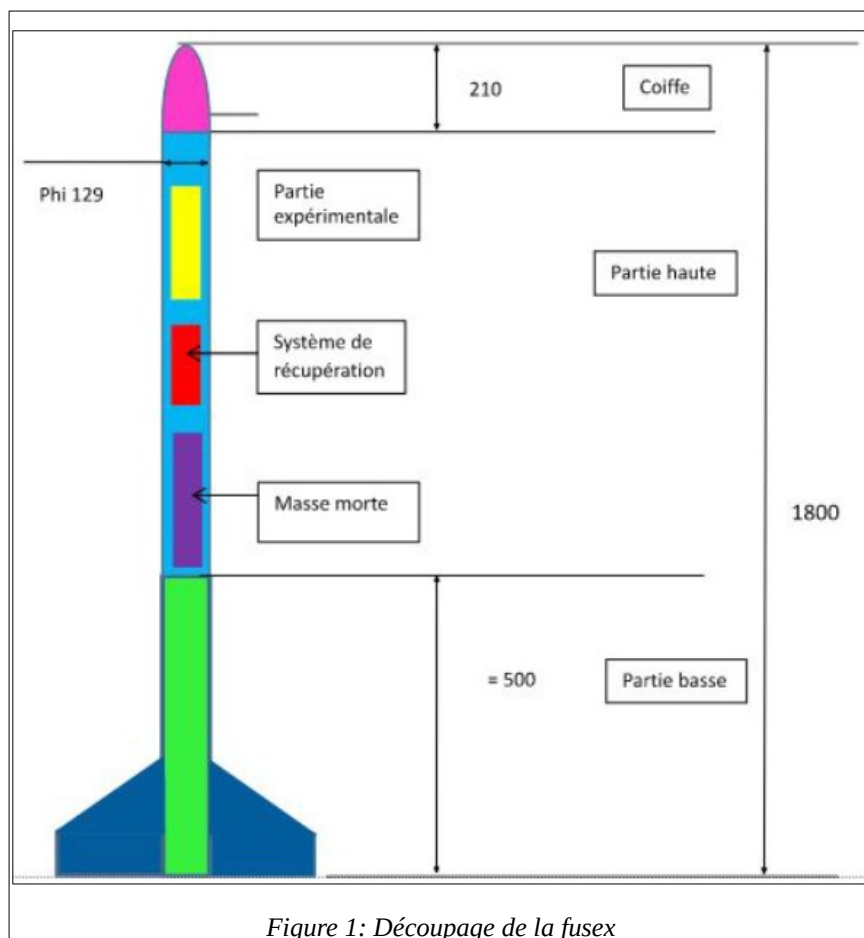


Figure 1: Découpage de la fusex

2_ Répartition des éléments

La fusée est divisée en trois parties :

- l'intérieur de la coiffe s'organise en étages séparés par des entretoises. On y retrouve les différentes cartes électroniques (télétransmission LORA, partie monitoring et Cordée de la Réussite), toutes les alimentations maintenues dans des compartiments obtenus par impression 3D (cartes électroniques, caméras, Cordée de la Réussite), ainsi que des appareils de mesure tels que le tube Pitot et l'altimètre.

- la partie haute contient le système de récupération, fixé sur deux bagues de part et d'autre de la trappe servant à l'éjection du parachute. On peut également y retrouver la caméra intérieure et, sur la peau, sous une protubérance, la caméra extérieure, son système de stockage des données, qui filmeront la sortie du parachute. Sous les deux autres protubérances, sont fixés des LEDs et des interrupteurs pour la gestion manuelle des cartes électroniques. Pour finir, une bague en métal est fixée entre le système de récupération et la partie basse de la fusée.

- la partie basse contiendra le moteur Barasinga Pro54-5G C, tenu par une bague de reprise de poussée ainsi que deux bagues de maintien. Trois ailerons sont fixés au bas du tube.

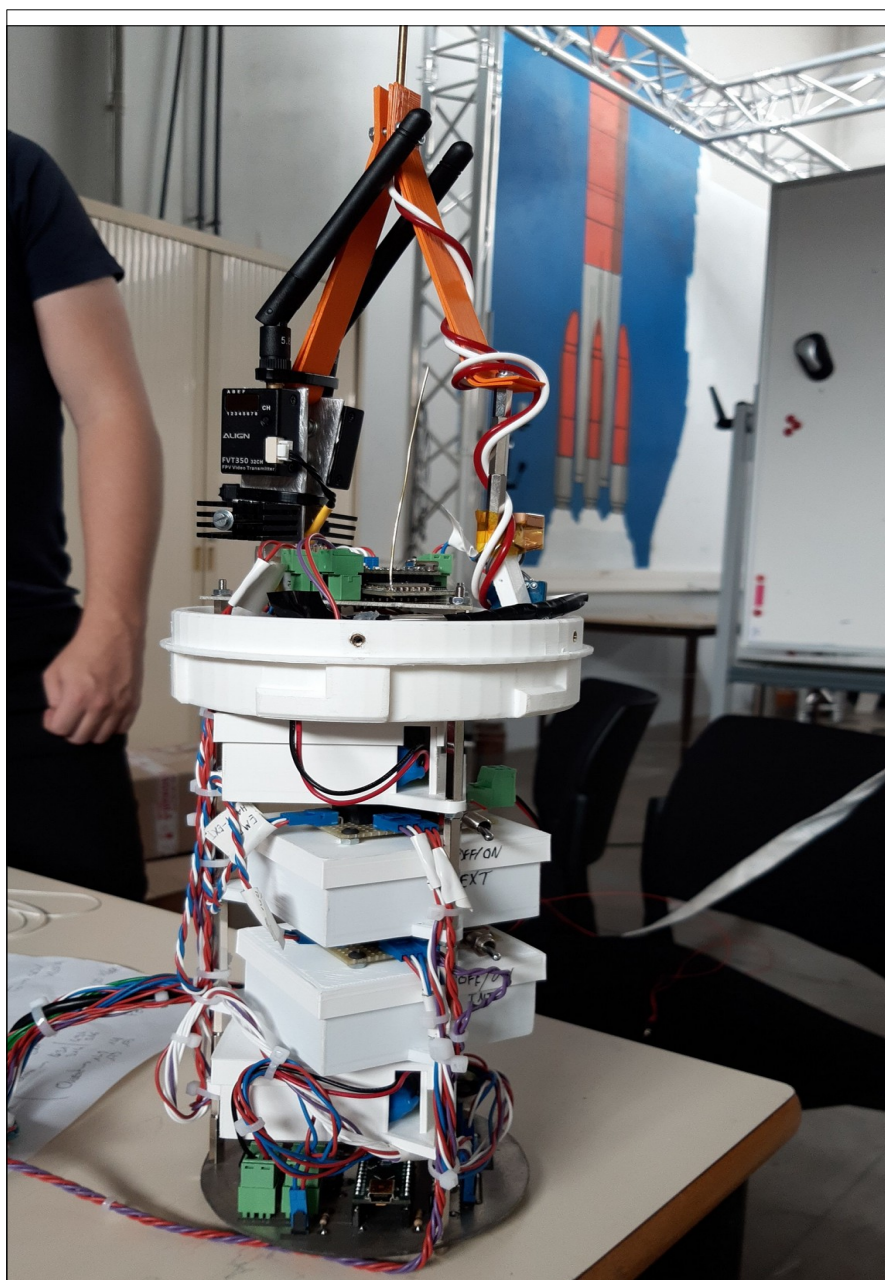


Illustration 1: Sous coiffe et système d'étage par entretoise

3_ Systèmes mécaniques majeurs

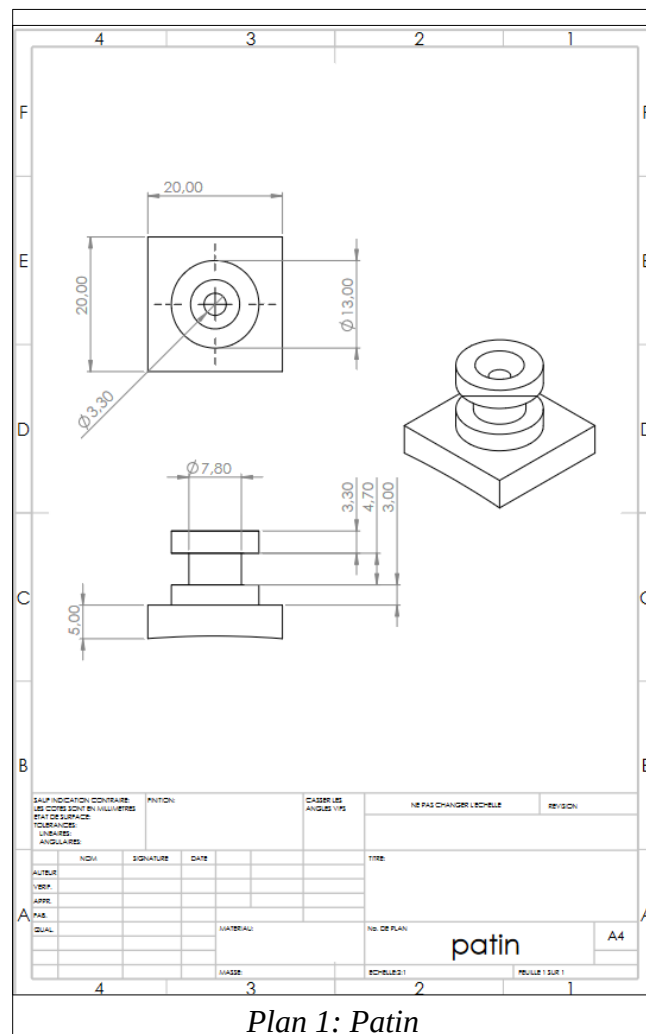
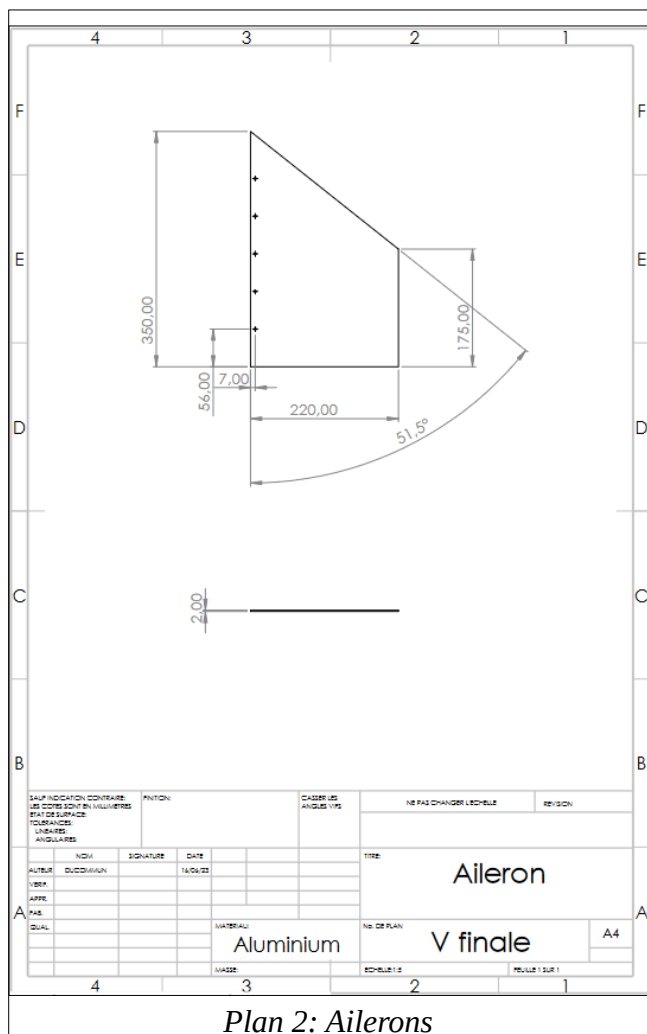
Plusieurs systèmes mécaniques composent la fusex. Le plus conséquent est le système de récupération décrit en suivant dans ce document (cf. 2-c. et 3-b.).

On peut également citer :

- deux patins usinés en laiton pour la mise en rampe de la fusée ;
- 3 ailerons en aluminium dur découpés par jet d'eau.



Illustration 2: Partie basse et ailerons



Document de fin de projet

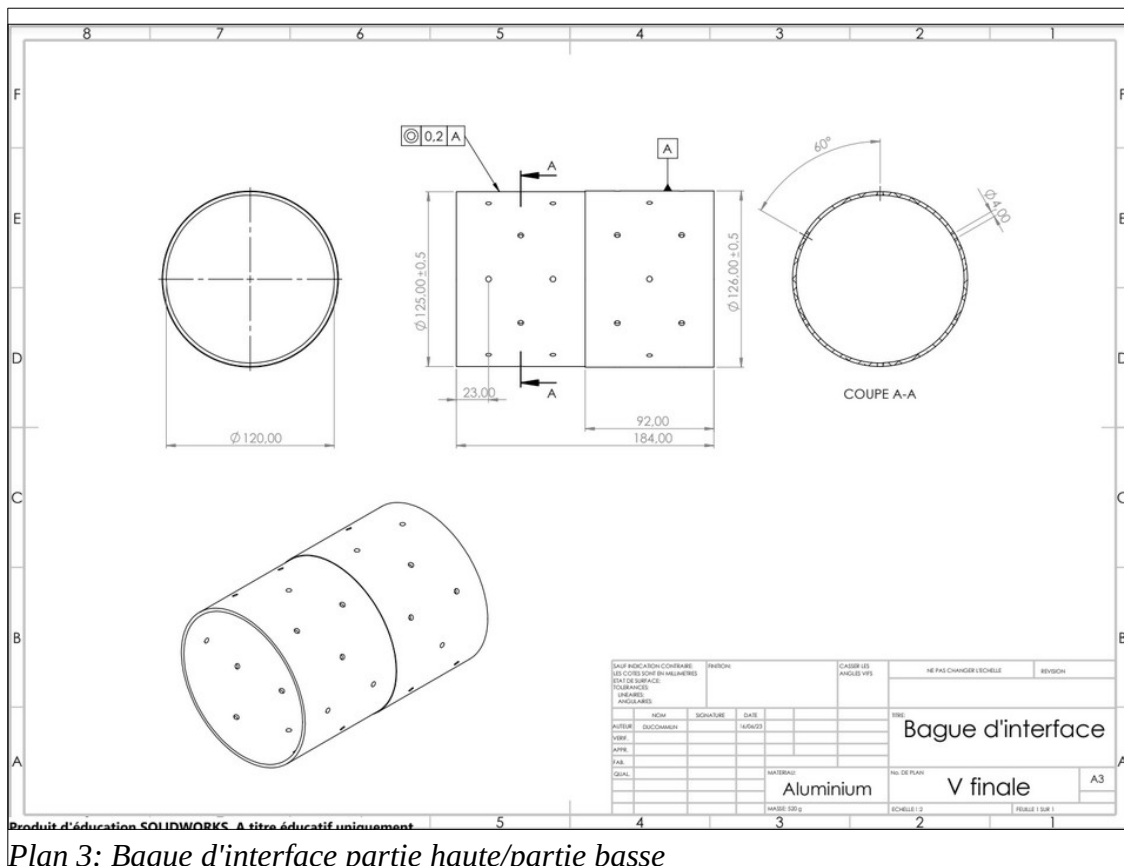
On retrouve également deux systèmes de liaisons permettant d'assembler les différentes parties de la fusée :

- la jonction entre la coiffe et la partie haute consiste en un système de couplage par baïonnette. Cette pièce a été imprimée en PLA.



Illustration 3: Bague d'interface coiffe/partie haute

- la jonction entre la partie haute et la partie basse est un tube usiné en aluminium de diamètre extérieur 125 mm et de diamètre intérieur 124 mm, nommé bague d'interface. Il est fixé par 18 vis M3 sur la peau en carbone, ainsi que 12 vis M3 et 6 vis M4 sur la peau en aluminium. Il s'insère à l'intérieur de la peau pour la partie haute, et du tube en aluminium pour la partie basse, afin d'obtenir un corps de fusée uniforme.

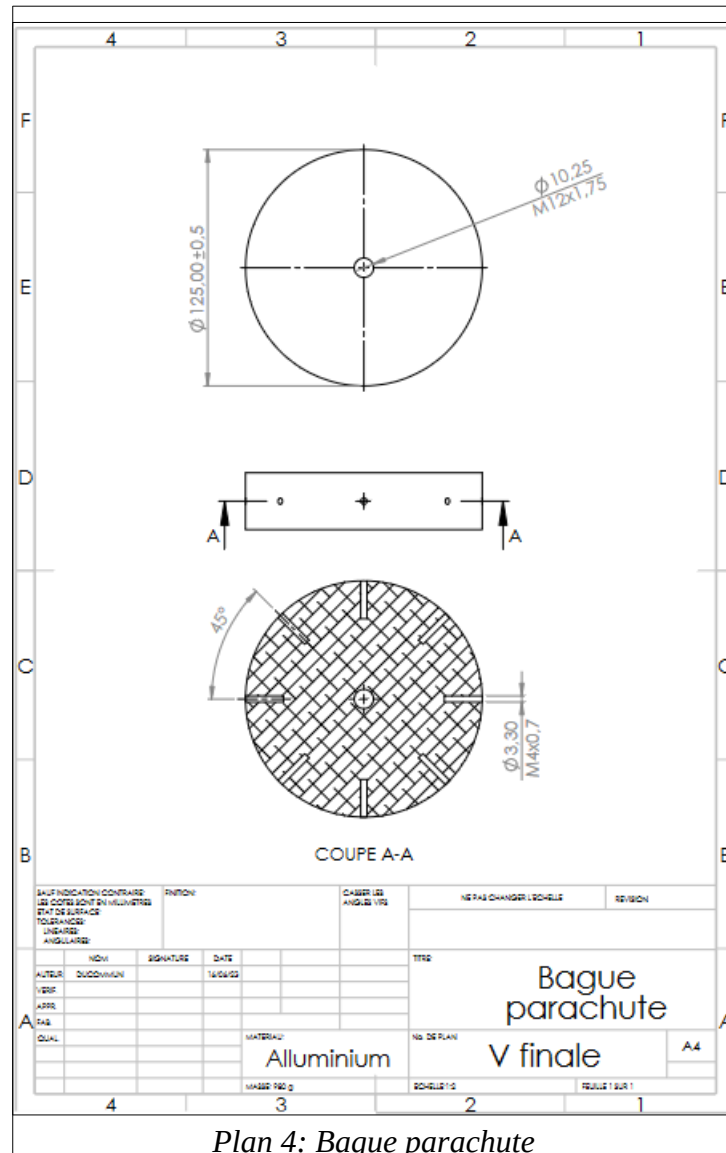


Plan 3: Bague d'interface partie haute/partie basse

Document de fin de projet

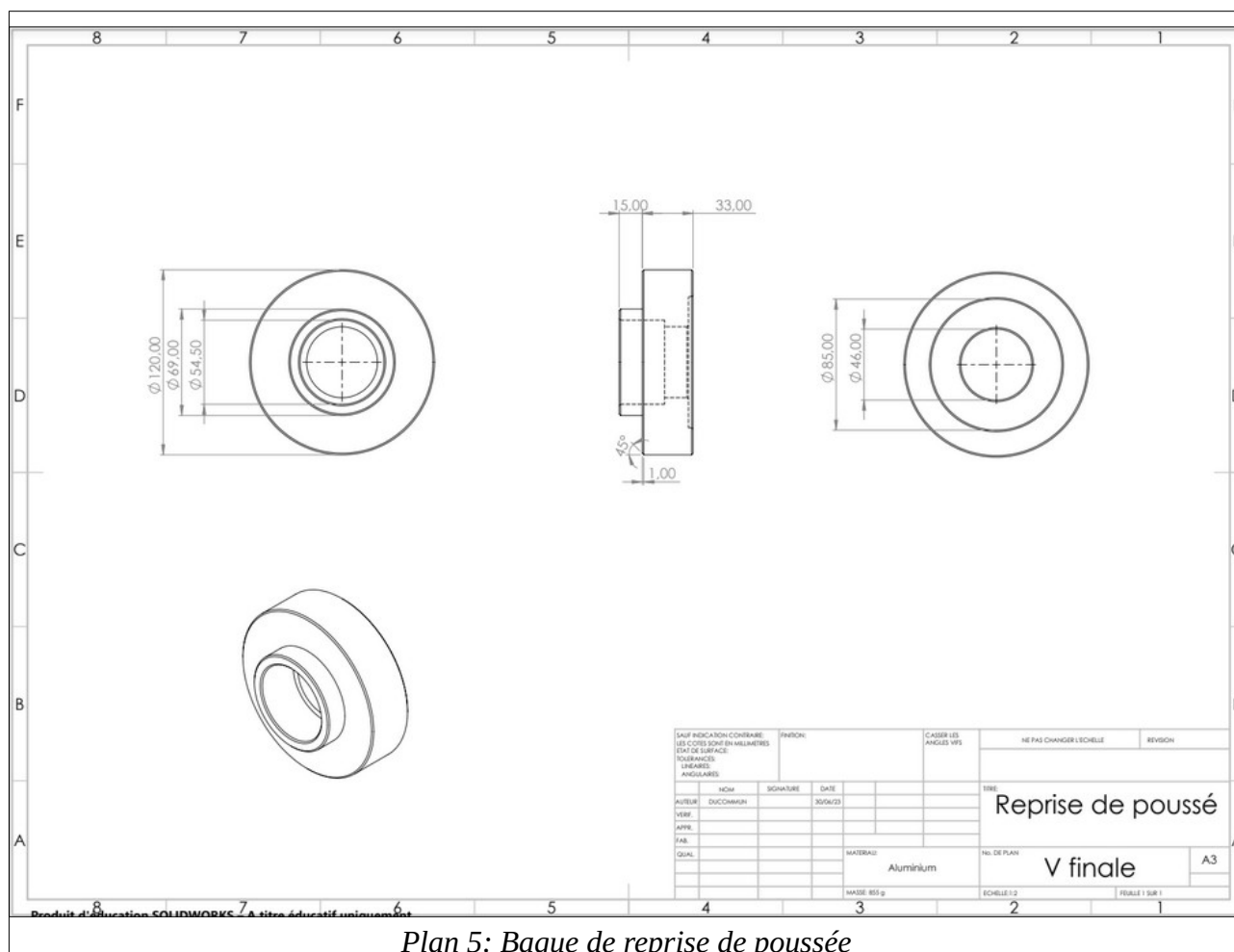
Comme mentionné dans la sous-partie précédente, de nombreuses bagues servent au maintien interne des différents éléments :

- deux bagues encadrent le système de récupération. Elles sont imprimées en PLA et sont fixées par 6 vis M3.
- une bague de support du parachute usinée en aluminium où est accroché le capteur de force. Elle est maintenue par 6 vis M4.



- une bague de reprise de poussée usinée en aluminium se situant tout en haut de la partie basse. Elle accueillera le moteur Barasinga et permettra la propulsion de la fusée par reprise de poussée par le haut. Elle est tenue par les 12 vis M3 maintenant la bague d'interface par la peau en aluminium.

Document de fin de projet



- deux bagues de maintien du moteur usinées en aluminium. Elles sont fixées par 6 vis M3 chacune. La bague de maintien inférieure comprend un système de loquet pour empêcher la sortie du moteur.

b. StabTraj & forme des ailerons

Afin de nous assurer de la faisabilité de notre projet, nous avons utilisé StabTraj et ainsi valider la stabilité de PLUME 23.

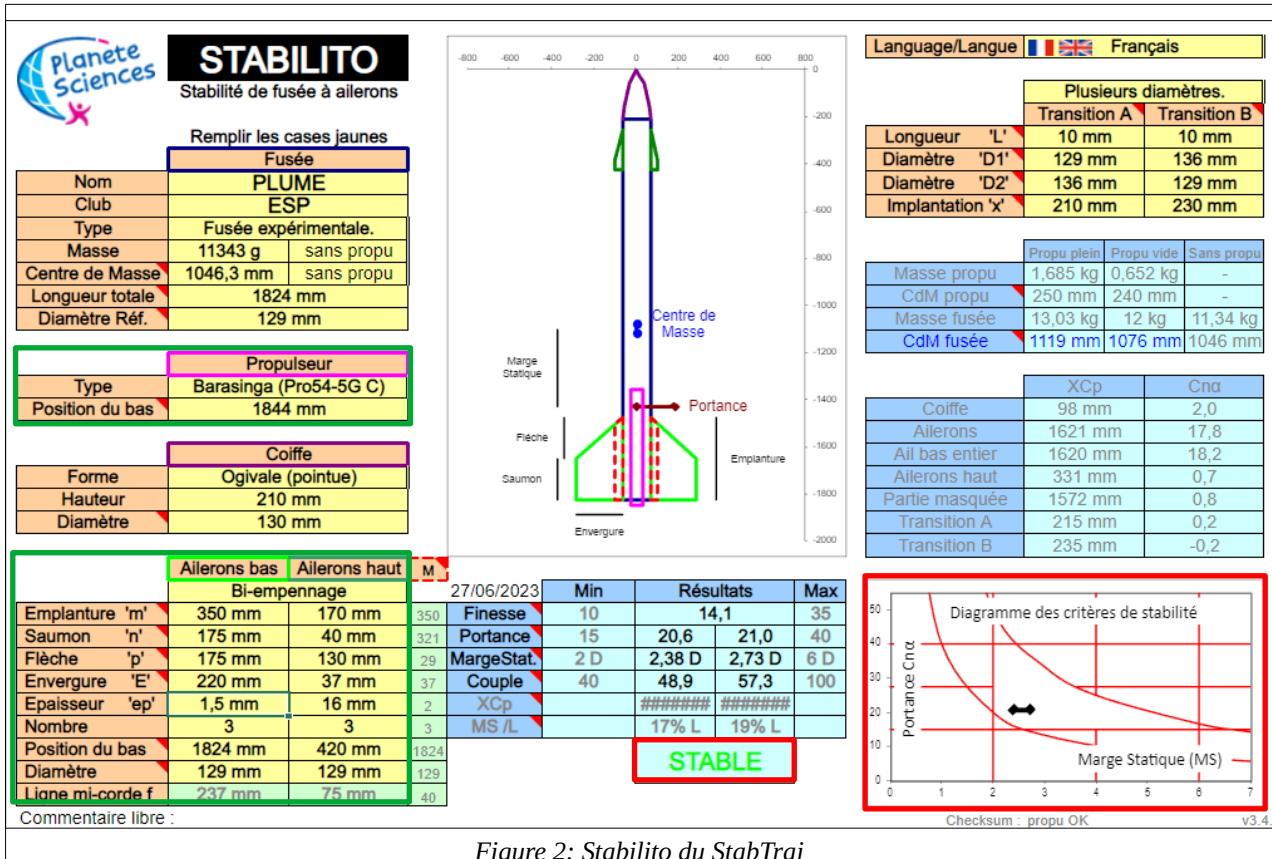


Figure 2: Stabilito du StabTraj

Légende : Indications de stabilité
 Dimensionnements

Nous avons également pu dimensionner les ailerons, le parachute et sélectionner la méthode de propulsion.

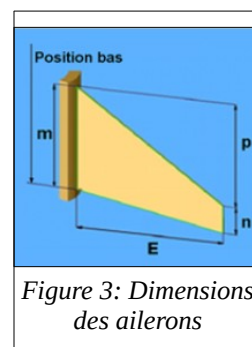


Figure 3: Dimensions des ailerons

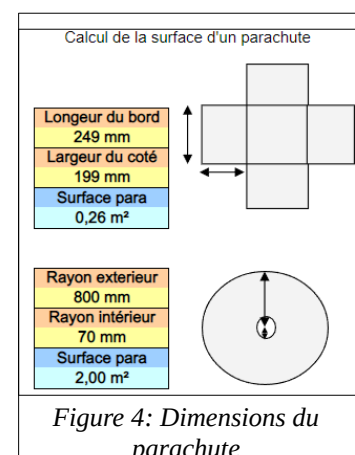


Figure 4: Dimensions du parachute

A l'aide de StabTraj, nous avons aussi prévu la trajectoire de la fusée ainsi que les paramètres du vol.

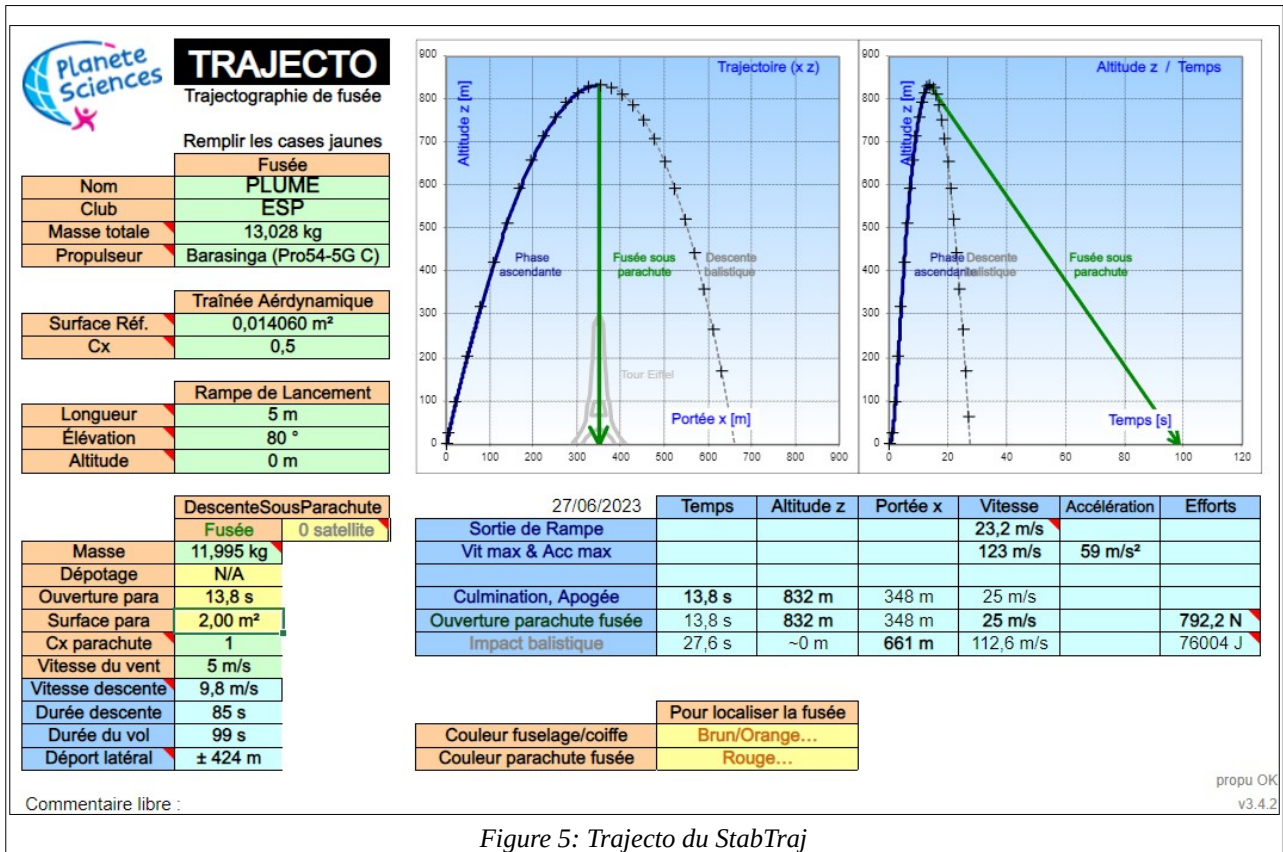


Figure 5: Trajecto du StabTraj

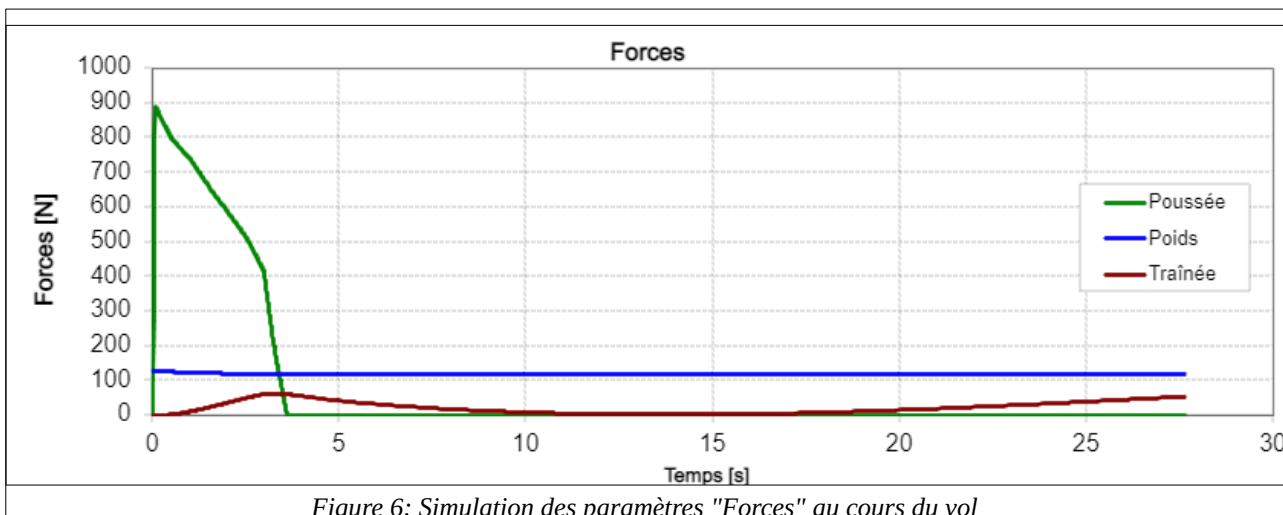


Figure 6: Simulation des paramètres "Forces" au cours du vol

Document de fin de projet

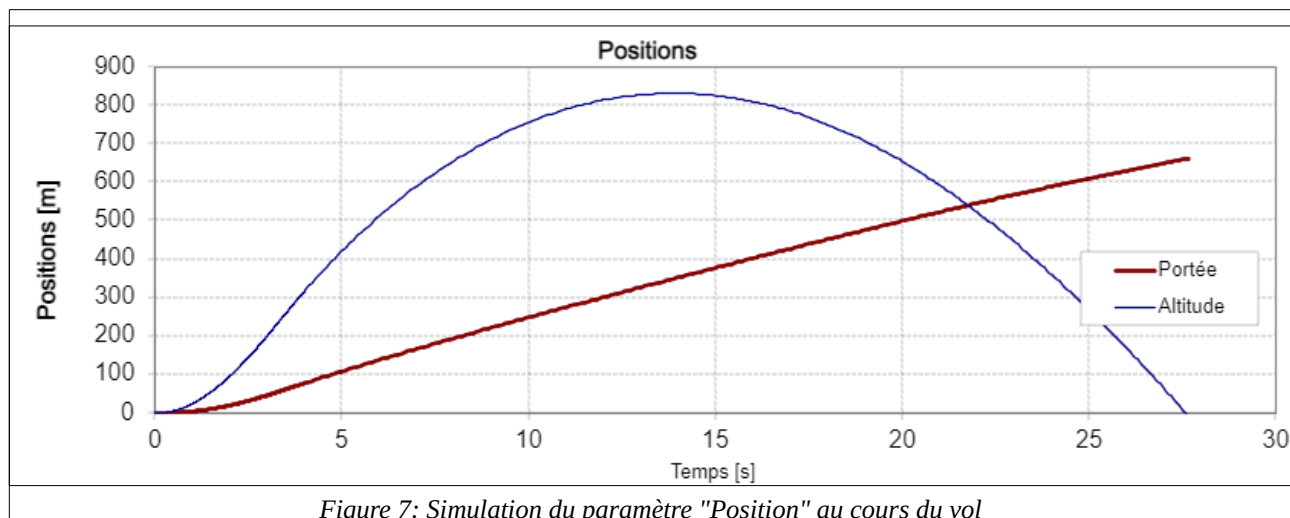


Figure 7: Simulation du paramètre "Position" au cours du vol

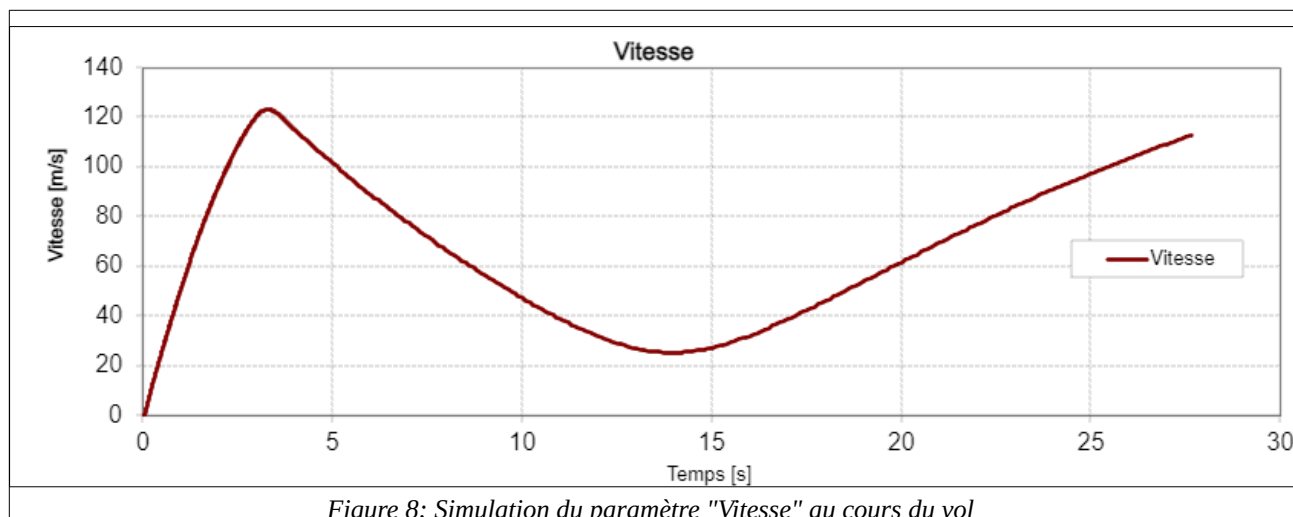


Figure 8: Simulation du paramètre "Vitesse" au cours du vol

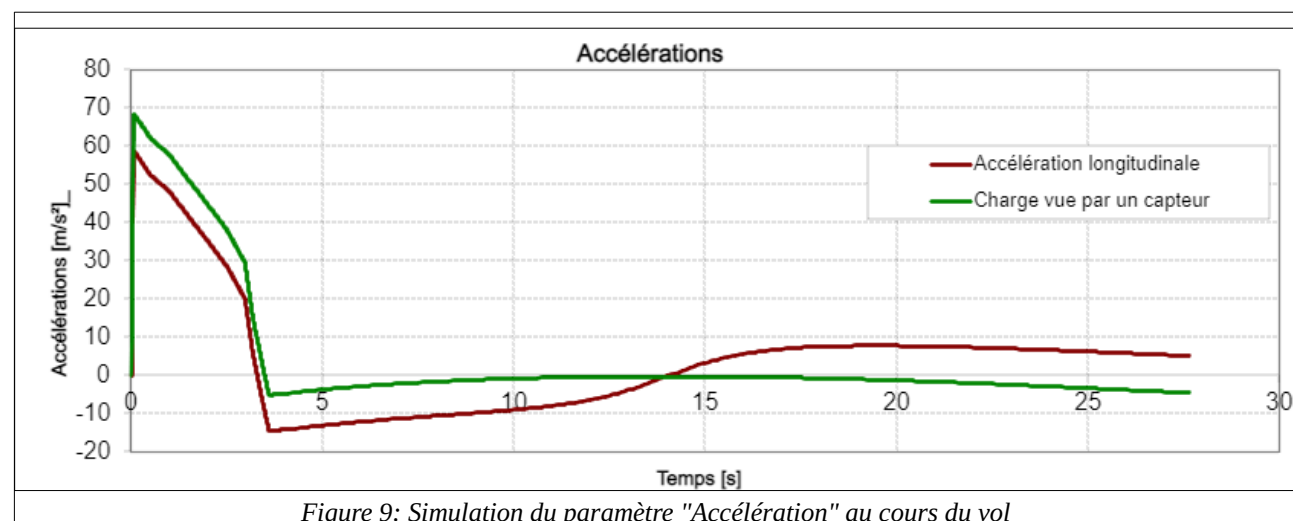


Figure 9: Simulation du paramètre "Accélération" au cours du vol

c. Système de récupération

Le système mécanique majeur de PLUME 23 est très certainement le système de récupération. L'idée générale est de permettre un atterrissage en douceur de la fusex par le déploiement d'un parachute, éjectée par la trappe à laquelle il est accrochée, trappe elle-même repoussée par deux ressorts de 120 N. Le parachute a été dimensionné à l'aide de StabTraj comme mentionné plus tôt dans le document (figure 4).

Nous avons donc opté pour un parachute rond de rayon extérieur 800 mm et de rayon intérieur 70 mm muni d'un anneau anti-torche imprimé en PLA. Le dimensionnement des sangles a été déterminé en suivant la règle de 1,5 fois le rayon imposée par le document du CNES «Les parachutes des fusées expérimentales», édition Février 2002, note technique ANSTJ.

Outre le parachute, le système de récupération se base également sur un système électronique. Le principe est décrit par la suite.

3- Description électronique et informatique

a. Description générale

L'électronique de la fusée PLUME 23 comporte un total de 6 systèmes électroniques :

- la carte du système de récupération ;
- la carte monitoring du système de récupération ;
- la télétransmission LORA ;
- deux caméras, une intérieure et une extérieure ;
- la Cordée de la Réussite.

Exceptée la carte du système de récupération, l'ensemble des autres cartes électroniques se trouvent dans le système d'étages liés par des entretoises, situé sous la coiffe.

La partie expérimentale accueille aussi un altimètre Pnut autonome situé sous la coiffe.

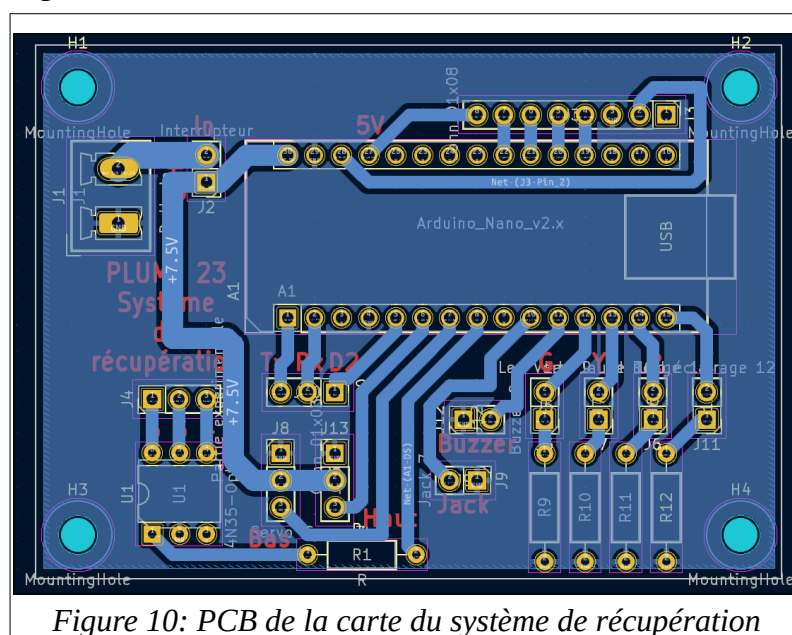
Les programmes informatiques sont contenus et exécutés par des Arduino Nano en langage C.

b. Système de récupération

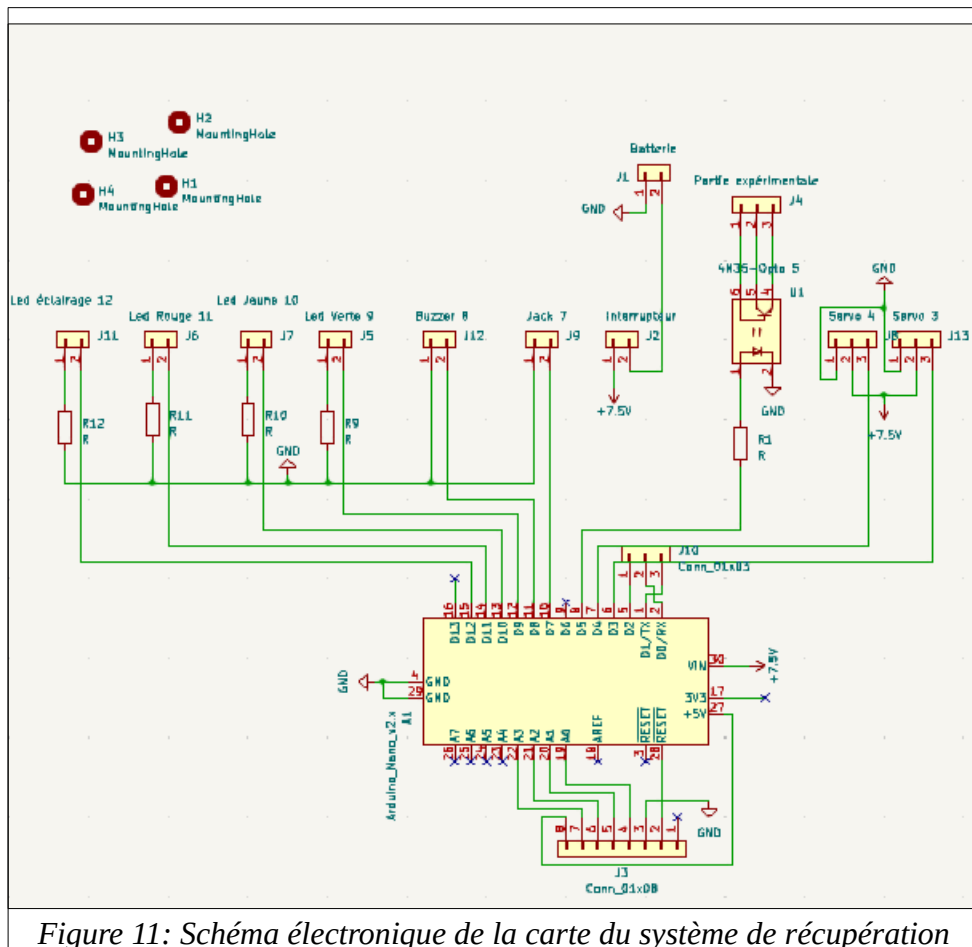
1_ Aperçu générale

Ce système se compose d'une partie mécanique décrite précédemment, et d'une partie électronique décrite ci-après.

La carte contenant le code se situe au-dessus de la bague du système de récupération haute et a été réalisée à l'aide du logiciel KiCad.



Document de fin de projet



L'interrupteur permettant la mise sous tension de la carte et les 3 LEDs indicatrices (verte, jaune, rouge) se situent sous une protubérance.



Tableau 1: Interrupteurs et LEDs du système de récupération et de la partie Monitoring

2_ Fonctionnement

Dès que la carte électronique est alimentée, la LED verte s'allume. Là, le système est en attente. Par la suite, le code présente différentes phases.

```
52 void loop() {
53     // put your main code here, to run repeatedly:
54
55
56     // Phase de montée
57     if ((digitalRead(jackPin) == 1) && (stop == 1)) // Si le Jack est débranché et stop pas activé
58     {
59         stop = 0; // Stop activé permet de ne pas voir une boucle infinie
60         digitalWrite(optocoupleur, HIGH);
61         digitalWrite(ledTension, LOW);
62         digitalWrite(ledOptocoupleur, HIGH); // Début de la communication avec la partie monitoring
63         tone (buzzer, 500, 2000); // Début de la communication avec la partie monitoring
64
65         delay(tapogee-3000); //Temporisation jusqu'à l'apogée
```

La phase de montée se déclenche après l'arrachement d'un câble jack, annonciateur du décollage de la fusée. Cet instant est nommé le Top_0 ou T0. La LED verte s'éteint alors et la LED rouge s'allume. L'optocoupleur qui permet une liaison non électrique avec la partie monitoring (comme demandé dans le cahier des charges) se déclenche ainsi qu'un buzzer qui signale le fonctionnement du système par un signal sonore.

A partir de T0, un compte-à-rebours est lancé, basé sur la simulation StabTraj ; le code doit s'actionner à partir de 2 secondes avant l'apogée.

```
68 //Phase ouverture du parachute
69
70 for (int i = 0; i < 3; i++) // Clignotement 3x pour signaler le début de l'ouverture
71 {
72     digitalWrite(ledOuverture, HIGH);
73     tone (buzzer, 2000, 500);
74     delay(500);
75     digitalWrite(ledOuverture, LOW);
76     delay(500);
77 }
78 servo3.write(180); // Position servo ouvert
79 servo4.write(180); // Position servo ouvert
80 delay(100);
81
82 digitalWrite(ledOuverture, HIGH); // Parachute ouvert et début de la phase de descente
83 tone (buzzer, 500, 3000);
```

On arrive alors à la phase d'ouverture du parachute.

La LED jaune va alors clignoter 3 fois et le buzzer va sonner à 3 reprises également, tout cela sur une durée de 3 secondes au total.

Puis, deux servomoteurs, en haut et en bas de la trappe servant à l'éjection du parachute, se déclenchent pour libérer la trappe et les ressorts qui favorisent la poussée de la trappe vers l'extérieur. Le parachute, préalablement attaché à la trappe, est alors tiré hors de ce conteneur et se déploie.

Finalement, la LED jaune s'allume.


```

104 // Phase de descente de la fusée
105
106 delay(5000); // Temporisation jusqu'à l'atterrissage
107 digitalWrite(ledTension, LOW); // Fusée au sol
108 digitalWrite(ledOuverture, LOW);
109 tone (buzzer,500); // Buzzer pour localiser la fusée

```

On arrive en phase de descente de la fusée. Toutes les LEDs sont éteintes et le buzzer est actionnée sans limite de temps pour faciliter la localisation de la fusex.

c. Partie monitoring

1_ Aperçu générale

La partie monitoring consiste en un certain nombre de capteurs et d'une carte électronique, dans le but de surveiller constamment le système de récupération. Elle est allumée par un interrupteur situé sous la même protubérance que le système d'allumage du système de récupération et une LED indicatrice rouge garante de la mise en tension de la partie monitoring se situe sous cette même protubérance.

Pour cela, ont été installés :

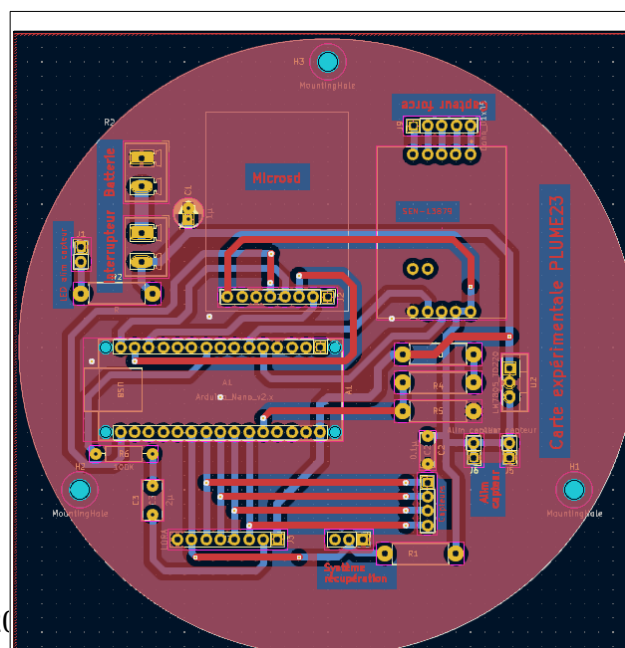
- deux capteurs de contact, en haut et en bas de la trappe ;
- deux potentiomètres, en face de chaque servomoteur pour surveiller leur rotation ;
- un capteur de force 500 kg.

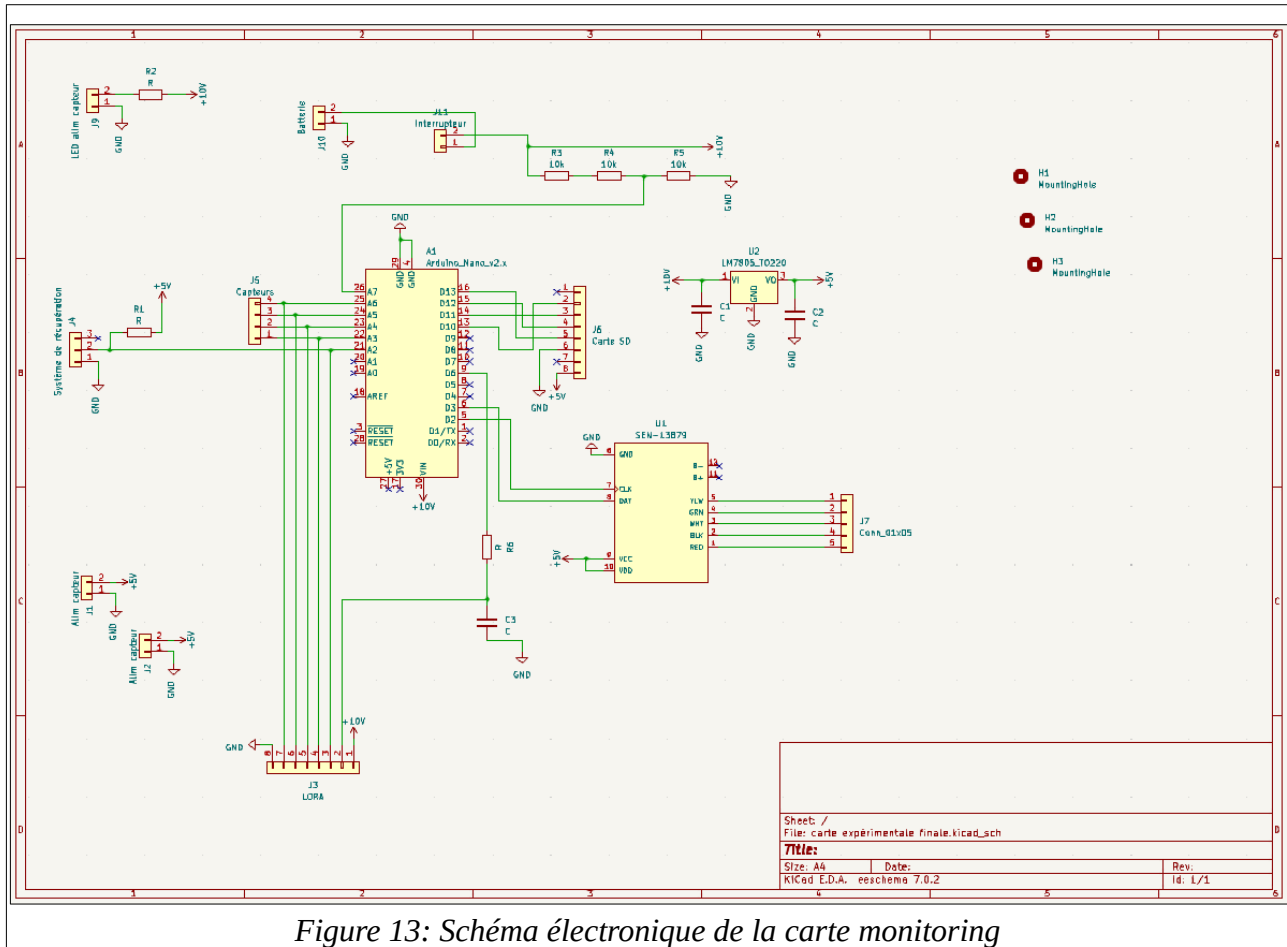
De plus, le débranchement de la prise jack annonceur du lancement de la fusex sera relevé, ainsi que la tension au borne de la batterie alimentant le système expérimental.

Le temps sera également affiché à l'aide de la fonction millis().

Toutes ces informations sont enregistrées en continu sur carte SD sur une fréquence de 100 Hz et une partie est télétransmise par LoRa (cf 3-d.).

La carte contenant le code se situe dans le système d'entretoise sous la coiffe et a été réalisée à l'aide du logiciel KiCad.





2_ Fonctionnement

Dès que la carte est alimentée, la LED rouge s'allume. Les capteurs sont mis sous tension et le programme est initialisé. La carte SD est ouverte et un fichier «Donnees» est créé. Une première écriture est faite pour assurer une lecture et une exploitation des données faciles.

```
58 //Serial.println("initialization done.");
59
60 Donnees = SD.open("Donnees.txt", FILE_WRITE);
61 Donnees.println("-----");
62 Donnees.println("Starting measurment...");
63 Donnees.println("-----");
64 Donnees.println("Temps,T0,Contact 1,Contact 2,Position 1,Position 2,Force(kg),Batterie");
65 Donnees.close(); //ESSAI VAL FRANFRAN
```

Le fichier est finalement fermé pour enregistrer les données.

Document de fin de projet

```

68 void loop()
69 {
70     // nothing happens after setup
71
72     // open the file. note that only one file can be open at a time,
73     // so you have to close this one before opening another.
74
75     Donnees = SD.open("Donnees.txt", FILE_WRITE) ;
76
77     // if the file opened okay, write to it:
78     if (Donnees) {
79
80
81         //Temps
82         time = millis() ;
83
84         //Top 0
85         T0 = digitalRead (T0_pin) ;
86
87         //Contact
88         Contact_1 = digitalRead (Contact1_pin) ;
89         Contact_2 = digitalRead (Contact2_pin) ;
90
91         //Position
92         Position_1 = analogRead (Position1_pin) ;
93         Position_2 = analogRead (Position2_pin) ;
94
95         //Batterie
96         Batterie = analogRead (Batterie_pin) ;
97
98         //Force
99         Force = scale.get_units() ;
100         f = abs(Force/2) ;
101         analogWrite (6,f) ;

```

On entre alors dans la boucle principale.

Les valeurs de chaque capteur sont relevées dans des variables.

La force, qui devra être transmis au LoRa, requiert la création d'une seconde variable dont la valeur est envoyé vers le LoRa.

```

103 Donnees.println(String(time)+" "+String(T0)+" "+String(Contact_1)+" "+String(Contact_2)+" "+String(Position_1)+" "+String(Position_2)+" "+String(Force)+" "+String(Batterie)) ;
104 //Serial.println(String(time)+" "+String(T0)+" "+String(Contact_1)+" "+String(Contact_2)+" "+String(Position_1)+" "+String(Position_2)+" "+String(Force)+" "+String(Batterie)) ;
105 //delay(10) ;
106
107 // close the file:
108 Donnees.close() ;

```

Les données sont finalement écrites de façon à être facilement et rapidement exploitées puis le fichier est fermé pour enregistrer les données. La boucle peut recommencer.

d. Télétransmission

1_ Aperçu générale

Le système de télétransmission est un système LoRa qui émet en 868 MHz. Le composant électronique Adafruit RFM9X ainsi qu'une antenne en laiton réalisée manuellement et une antenne haute performance RF Solutions permettent la télétransmission.

Le système comprend :

- une station sol réceptrice branchée sur un ordinateur portable et composé de l'antenne haute performance, d'une composant RFM9X et d'une carte arduino ;
- une station émettrice embarquée dans la coiffe de la fusée expérimentale ;
- un interrupteur et une LED verte situés sous une protubérance.

Les données télétransmises sont le Top0, les deux capteurs de contact, les deux potentiomètres et le capteur de force.

La carte contenant le code se situe dans le système d'entretoise sous la coiffe et a été réalisée à l'aide du logiciel KiCad.

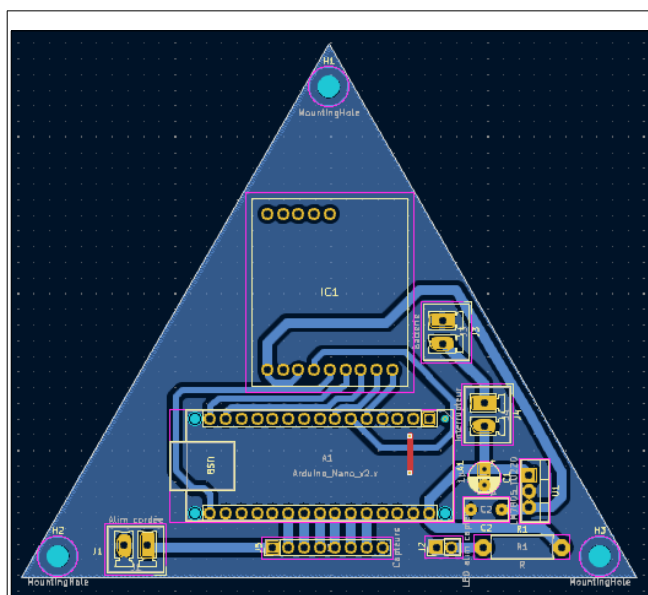


Figure 14: PCB carte LoRa

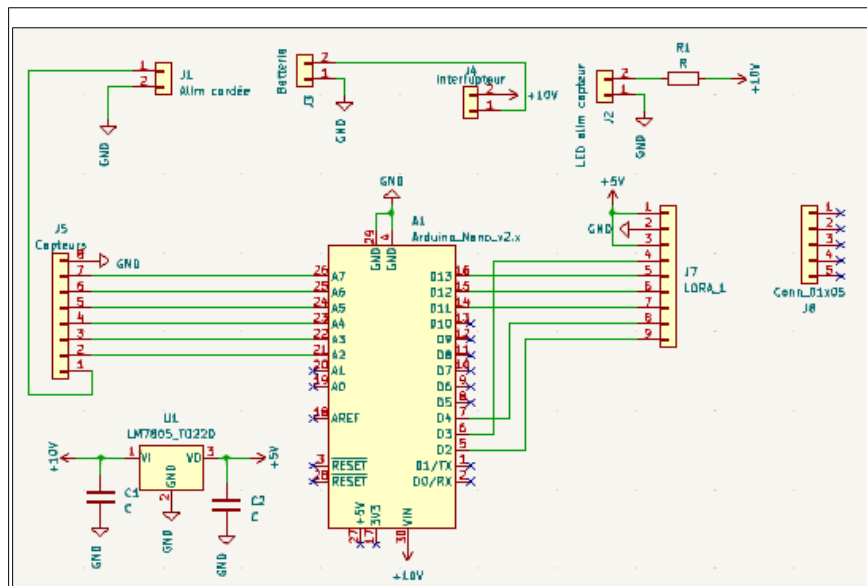


Figure 15: Schéma carte LoRa

2_ Fonctionnement

Pour la station émettrice, dès que la carte est alimentée, la LED verte s'allume. Le programme est initialisé.

```

81 void loop() {
82     delay(100); // Wait 0.1 second between transmits, could also 'sleep' here!
83     //T0 = analogRead(Contact1_pin) < 512;
84     //Contact_1 = analogRead(Contact1_pin) > 512;
85     T0 = digitalRead (T0_pin);
86     Contact_1 = digitalRead (Contact1_pin);
87     Contact_2 = digitalRead (Contact2_pin);
88     Position_1 = analogRead (Position1_pin);
89     Position_2 = analogRead (Position2_pin);
90     Force = analogRead (Force_pin) ;
91     char radiopacket[20] = "#      ";
92     itoa(packetnum++, radiopacket+1, 10);
93     char T[20] = "T0:      ";
94     itoa(T0, T+4, 10);
95     char C1[20] = "Contact 1:    ";
96     itoa(Contact_1, C1+11, 10);
97     char C2[20] = "Contact 2:    ";
98     itoa(Contact_2, C2+11, 10);
99     char P1[20] = "Position 1:    ";
100    itoa(Position_1, P1+12, 10);
101    char P2[20] = "Position 2:    ";
102    itoa(Position_2, P2+12, 10);
103    char F[20] = "Force:      ";
104    itoa(Force, F+7, 10);
105    radiopacket[19] = 0;
106
107    delay(10);
108    rf95.send((uint8_t *)radiopacket, 20);
109    rf95.send((uint8_t *)T, 20);
110    rf95.send((uint8_t *)C1, 20);
111    rf95.send((uint8_t *)C2, 20);
112    rf95.send((uint8_t *)P1, 20);
113    rf95.send((uint8_t *)P2, 20);
114    rf95.send((uint8_t *)F, 20);

```

Après un court délais permettant d'empêcher la superposition des signaux transmis, les valeurs de chaque capteur sont enregistrées dans des variables de taille adaptées pour optimiser la vitesse d'exécution du code.

Les valeurs sont ensuite converties en chaînes de caractères puis télétransmises une à une. On obtient une vitesse de télétransmission d'environ 100 Hz.

Pour la station réceptrice, une fois branchée sur l'ordinateur, le programme est lancé.

```

89 void loop() {
90     if (rf95.available()) {
91         // Should be a message for us now
92         uint8_t buf[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
93         uint8_t len = sizeof(buf);
94
95         if (rf95.recv(buf, &len)) {
96             digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
97             //RH_RF95::printBuffer("Received: ", buf, len);
98             Serial.println((char*)buf);
99         }

```

Dès la réception d'un signal, les données sont écrites les unes à la suite des autres dans le moniteur série pour une visualisation et une exploitation des données en direct.

e. Caméras

1_ Aperçu générale

Les caméras sont des caméra FPV Pilot HD V2 de chez FatShark.

Deux interrupteurs placés sous la même protubérance que l'interrupteur du LoRa permettent de les alimenter.

Une fois alimentées, elles sont autonomes et enregistrent les données vidéos sur carte SD. De plus, ces caméras permettent également la télétransmission de ces vidéos sur des écrans qui devaient compléter la station sol composée du module LoRa.

Cependant, les fréquence d'émission n'entraient pas dans la gamme autorisée donc cette partie télétransmission n'a pas pu être assurée.

La carte contenant le code se situe dans le système d'entretoise sous la coiffe et a été réalisée à l'aide du logiciel KiCad.

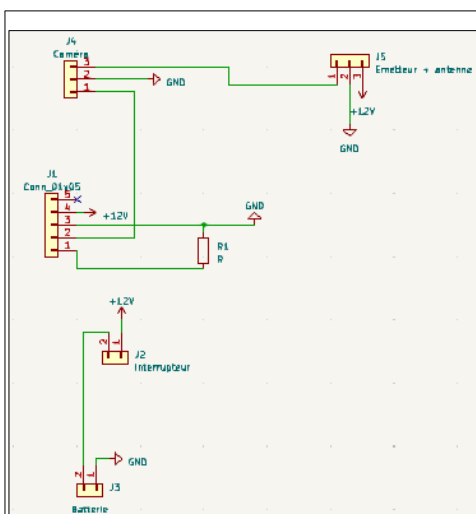


Figure 16: Schéma carte caméras

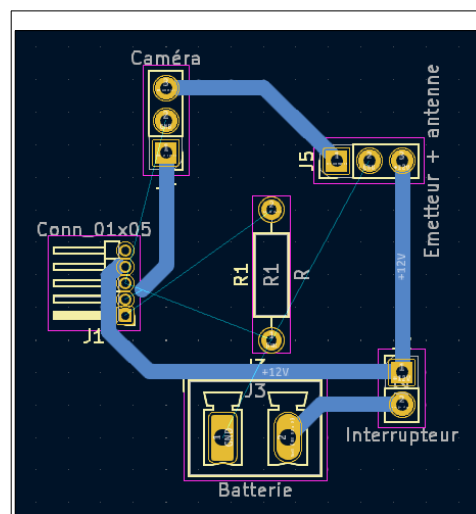


Figure 17: PCB carte caméras

4- Expériences

a. Objectif

L'objectif principal de nos expériences est l'observation continue du système de récupération. Cet objectif s'explique par la perte non expliquée de la fusée PLUME 22 précédent PLUME 23 lors du dernier Cspace.

En parallèle, dans un enjeu de sensibilisation de la jeunesse, le NAASC a octroyé un espace pour une expérience lycéenne à bord de la fusex PLUME 23. C'est la Cordée de la Réussite.

De plus, une expérience de trajectographie a été ajoutée à l'aide d'un altimètre Pnut.

b. Paramètres

Dans un premier temps, les paramètres mesurés pour la surveillance du système de récupération sont :

- le contact de la trappe avec le corps de la fusée via 2 contacteurs placés en haut et en bas de la trappe ;
- la rotation des servomoteurs à l'aide de 2 potentiomètres ;
- la force exercée sur le brin du parachute à l'aide d'un capteur de force et d'un module HX711 ;
- l'arrachement de la prise jack lors du lancement de la fusex ;
- le temps par la fonction millis() d'arduino.

Pour la trajectographie, un altimètre Pnut mesure la trajectoire de la fusée expérimentale.

Enfin, l'expérience de la Cordée de la Réussite utilise une GPS et un tube pitot pour mesurer la pression et la position de la fusée.

c. Étalonnage et estimations

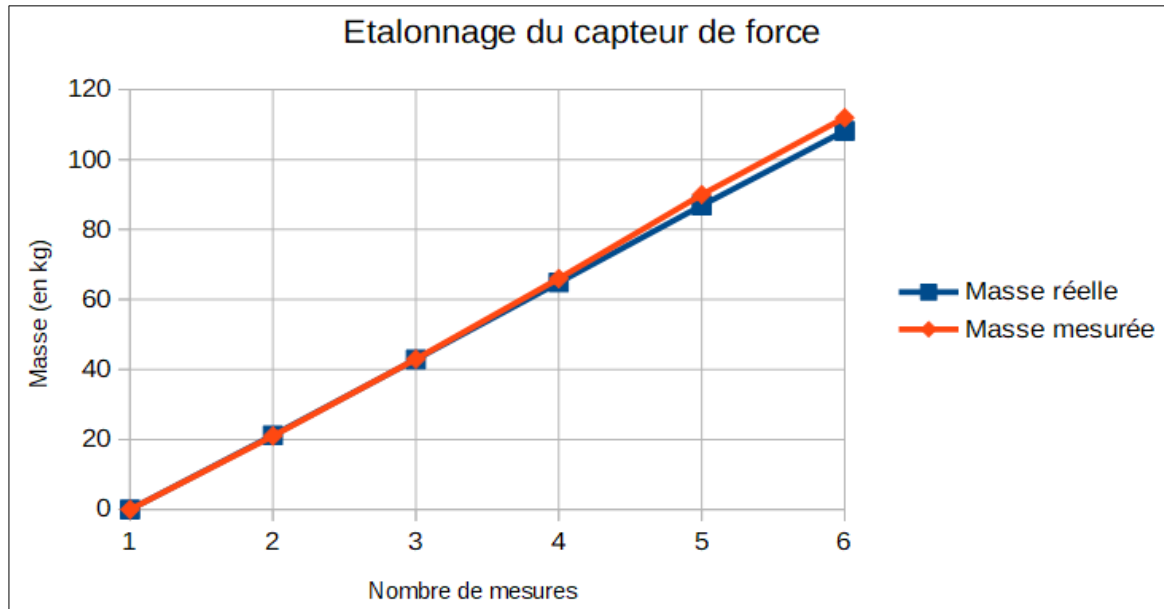
Dans un premier temps, nous avons relevé les valeurs d'ouverture et de fermeture des servomoteurs relevés par les potentiomètres :

		Carte SD	LoRa
Position fermée	Potentiomètre haut	491	494
	Potentiomètre bas	514	516
Position ouverte	Potentiomètre haut	148	148
	Potentiomètre bas	173	173

Nous nous attendons à obtenir des valeurs similaires lors du vol.

Document de fin de projet

A l'aide d'un code, nous avons déterminé le coefficient de calibrage du module HX711 servant à exploiter les données du capteur de force. Nous avons obtenu : -8930. Puis, nous avons étalonné le capteur de force à l'aide de 5 masses :



La force attendue sur le brin a été estimée via StabTraj pour un maximum de 120 kg lors de l'ouverture du parachute.

Les contacteurs et le Top_0 ne nécessitent pas d'étalonnage comme il s'agit de valeurs binaires.

Le tube Pitot n'a pas pu être étalonné.

5- Déroulement du vol

a. Paramètres de vol

Le vol a eu lieu le mardi 18 juillet 2023 au matin, vers 11h30.
Le ciel était couvert et assez venteux. Il n'y a eu aucune précipitations.
La fusée a été lancée depuis la rampe rail de 5m «Toutatis rail».

b. Vol

La fusée a effectué un vol nominal. Elle était stable tout au long de son vol bien que le vent l'ait faite osciller par moment.
Le système de récupération s'est enclenché dans les temps, bien que peu après le temps initialement estimé.
Sa descente s'est effectuée assez rapidement, ce qui indique qu'il faudrait augmenter la taille du parachute. La fusée est cependant restée horizontale tout au long de la descente.
Seul élément à noter est que la trappe s'est arrachée du parachute après l'éjection.

c. Récupération

La fusée a été récupérée en fin d'après-midi dans un champ de maïs.
Elle était en bon état bien que la jonction entre la coiffe et le corps, le système d'entretoise et une bague de maintien du moteur aient été cassés lors de l'atterrissage.
De plus, les cartes SD ont été éjectées lors de l'impact et les batteries ont été déconnectées.
La longue attente sur rampe a également provoqué l'extinction automatique de l'altimètre Pnut.
La trappe a ensuite été retrouvée sur le chemin du retour.

6- Résultats

a. Exploitation et analyse

Suite à l'éjection des cartes SD et à la déconnexion des batteries, tous nos fichiers ont été corrompus. De plus, l'extinction du Pnut n'a pas permis l'expérience de trajetographie.

Seul le LoRa a fonctionné durant le vol bien que la fréquence de télétransmission ne permettait pas d'observer aussi efficacement l'ouverture du parachute que l'enregistrement continu sur carte SD.
De plus, un problème est survenu avec le capteur de force, rendant les données concernant la force exercée sur le brin télétransmises inexploitable.

Néanmoins, nous avons obtenus plus de 2000 mesures télétransmises au final, permettant d'observer via le Top_0, les contacteurs et les potentiomètres l'ouverture du parachute et le bon fonctionnement du système de récupération mis en place.

La fusée a été lancée à la 2061^e mesure, comme l'indique le passage du T0 de 1 à 0 : la prise jack a été arrachée lors du décollage.

Les potentiomètres ont détecté l'ouverture des servomoteurs à la 2084^e mesure comme l'indique le passage des positions 1 et 2 de respectivement 493 et 518 à 142 et 149.

```
#2058
T0: 1
Contact 1: 1
Contact 2: 1
Position 1: 493
Position 2: 518
Force: 51
#2059
T0: 1
Contact 1: 1
Contact 2: 1
Position 1: 493
Position 2: 518
Force: 51
#2060
T0: 1
Contact 1: 1
Contact 2: 1
Position 1: 493
Position 2: 518
Force: 51
#2061
T0: 0
Contact 1: 1
Contact 2: 1
Position 1: 493
Position 2: 518
Force: 51
#2062
T0: 0
Contact 1: 1
Contact 2: 1
Position 1: 493
Position 2: 518
Force: 51
#2063
T0: 0
Contact 1: 1
Contact 2: 1
Position 1: 493
Position 2: 518
Force: 51
```

```
#2082
T0: 0
Contact 1: 1
Position 1: 493
Position 2: 518
Force: 51
#2083
T0: 0
Contact 1: 1
Contact 2: 1
Position 1: 493
Position 2: 518
Force: 51
#2084
T0: 0
Contact 1: 0
Contact 2: 0
Position 1: 147
Position 2: 177
Force: 51
#2085
T0: 0
Contact 1: 0
Contact 2: 0
Position 1: 142
Position 2: 151
Force: 51
#2086
T0: 0
Contact 1: 0
Contact 2: 0
Position 1: 141
Position 2: 149
Force: 51
#2087
T0: 0
Contact 1: 0
Contact 2: 0
```


b. Estimations et imprécisions

Suite aux nombreux problèmes survenus à l'atterrissage, le peu de données récupérées ne permettent pas d'estimation ou d'exploitation particulières.

Les imprécisions des potentiomètres sont négligeables au vue du but de leur mesure, à savoir vérifier la bonne ouverture et fermeture des servomoteurs.

7- Conclusion

Le projet de fusée expérimentale PLUME 23 avait pour objectif principal la validation du système de récupération. De plus, une surveillance continue de ce système était prévue par enregistrement permanent sur carte SD et par télétransmission LoRa.

Le vol de la fusex s'est avéré nominal ; le système de récupération s'est déployé correctement et selon nos prévisions. L'objectif a ainsi été atteint.

Cependant, suite à un atterrissage brutal, l'ensemble des batteries ont été déconnectées et les cartes SD éjectées, ce qui a corrompu toutes les données. Seul le LoRa a permis une observation partielle et grossière du vol.

Néanmoins, la fusée a été récupérée dans sa globalité.

Ce projet pluridisciplinaire nous a apporté beaucoup, autant en terme de connaissances techniques et théoriques, qu'en terme de savoir être. En effet, c'est un projet qui a demandé beaucoup d'autonomie, d'investissement et d'autodidaxie.

C'était un projet riche en expériences.

A l'avenir, pour assurer l'aboutissement du futur projet PLUME 24, il pourrait être intéressant de mettre en place plus de communication entre les différents partis participants au projet.

Un futur projet pourrait être d'effectuer des tests sur le CubSat développé par le NAASC à l'aide de la future fusex PLUME 24.

8- Remerciements

Pour conclure ce document, nous souhaitons adresser nos remerciements au NAASC et aux encadrants de l'AJSEP, pour nous avoir apporté leur soutien et leur expérience tout au long de l'aventure PLUME 23.

Un grand merci à Mme.GOETZ et M.BELLY également pour leur aide et leur bienveillance.