

*Gabriel Barbera
Léo Bertringer
Paul Boulay-Harlaut*

*Louis Bredoux
Sébastien Didon*

CONCEPTION D'UNE MINI-FUSÉE

X - FLR7



C'Space 2024

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier le CNES, pour l'organisation de la campagne du C'space et pour nous avoir fourni des propulseurs adaptés à notre projet

Ensuite, nos remerciements vont aux bénévoles de Planète Sciences, pour l'organisation de l'évènement, et pour le temps consacré à nous donner des conseils pour réaliser notre fusée et pour la rendre fonctionnelle.

Nous remercions également l'ESTACA et en particulier l'ESO pour nous fournir le matériel et le financement nécessaire au projet, mais aussi pour l'aide et le partage de connaissances des autres membres de l'association.

Finalement, nous souhaitons remercier Sébastien Didon, le tuteur du projet, pour son aide et ses conseils précieux tout au long de l'année.



Sommaire

Introduction.....	4
Projet X-FLR 7.....	4
Architecture Globale.....	5
Parties Détaillées.....	6
Système de Propulsion.....	6
Système d'Éjection.....	6
Minuterie.....	7
Système de Retour.....	7
Construction.....	8
Contrainte et Choix de Matériaux.....	8
Organisation.....	9
Organisation temporelle.....	9
Répartition des tâches.....	10
Impression des pièces.....	12
Système Électrique.....	13
Conception.....	13
Code.....	14
Résultats du C'space.....	18
Conclusion.....	20
Annexe 1: Mise en Plan.....	21
Annexe 2: Organisation.....	22
Annexe 3: Schéma électrique.....	23
Annexe 4: plan de la fusée.....	23
Annexe 5: Stabtraj.....	25
Annexe 6: Chronologie.....	26
Bibliographie.....	28

Introduction

Projet X-FLR7

En début de deuxième année, nous avons rejoint le programme “[mini-fusées de formation](#)” de l’Estaca Space Odyssey (ESO), afin d’approfondir nos connaissances dans ce domaine et de pouvoir potentiellement participer à la campagne de lancement du [C’Space 2024](#). Dans le cadre de ce projet, nous avons pu imaginer et réaliser une fusée dans son intégralité. Nous avons alterné tout au long de l’année entre des tâches tant [techniques](#) (conception, modélisation, ...) que [manuelles](#) (fabrication des composants de la fusée).

Pour cette raison, nous avons choisi de vous présenter l’intégralité de notre projet, de la phase de [réflexion à l’état actuel](#) de la fusée, et les résultats de son vol au C’space. Nous nous intéresserons donc dans un premier temps à l’[architecture globale](#) et au fonctionnement d’ensemble de la fusée. Nous y détaillerons la conception de la fusée, ainsi que les [différentes parties](#) qui la composent. Ensuite, nous étudierons l’[organisation du projet](#) sur l’année, les différents moyens mis en œuvre ainsi que les [difficultés rencontrées](#).



Architecture Globale

La X-FLR7 est divisée en 4 parties principales qui seront décrites en détail dans les pages suivantes. Ces parties sont l'étage de propulsion, le système d'éjection, le système de retour et enfin la minuterie.

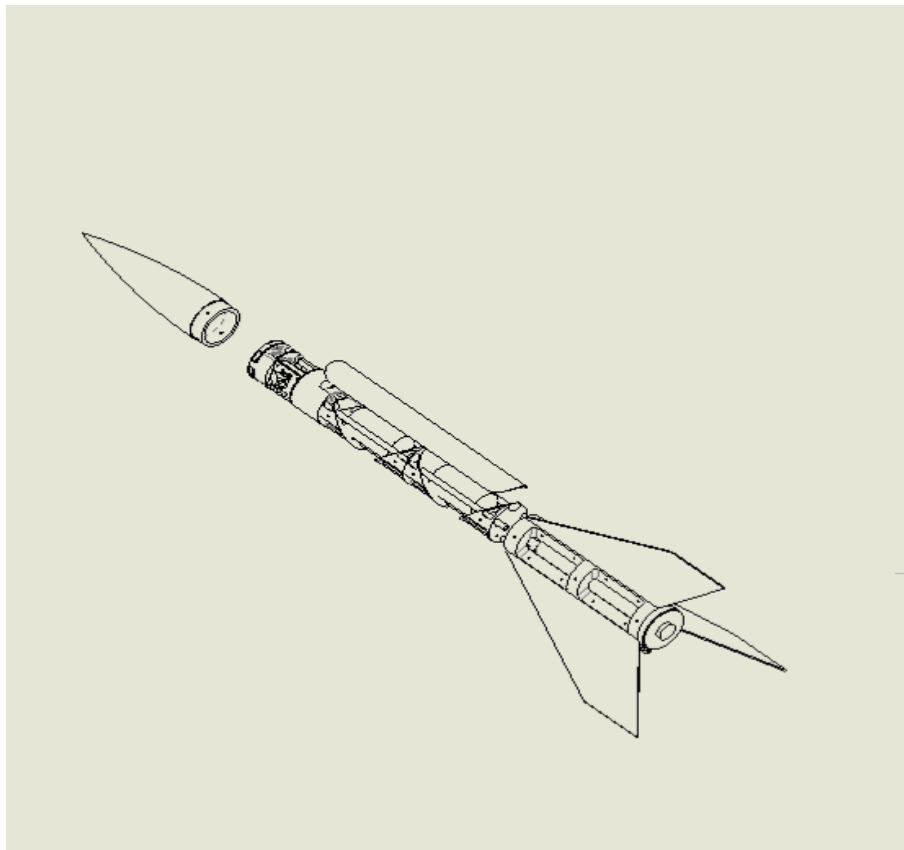
Chacune de ces parties remplit un rôle spécifique pour le bon fonctionnement de la fusée, ainsi l'étage de propulsion ([Cf Système de Propulsion](#)) doit assurer la propulsion et la stabilité du vol de la fusée pendant toute la phase ascendante.

A la fin de cette phase ascendante, le système d'éjection ([Cf Système d'Éjection](#)) doit relâcher le système de retour ([Cf Système de Retour](#)) afin de permettre un atterrissage contrôlé du véhicule.

L'enclenchement du système d'éjection est assuré par le système minuterie ([Cf Minuterie](#)).

Enfin, l'ensemble de ces parties est maintenue par le corps de la fusée.

Le corps de la X-FLR7 se compose d'une peau cylindrique en fibre de verre et résine époxy, d'une ogive en plastique imprimée en 3D pour la partie supérieure et de nombreuses vis pour lier le corps aux autres parties de la fusée. Les ailerons et la bague de poussée sont usinés en métal.



Parties Détaillées

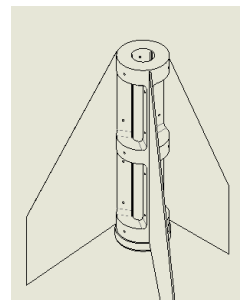
Système de Propulsion

La propulsion de la X-FLR7 est assurée par un moteur à **propergol solide** type **Pandora Pro24-6G BS**, fourni par planète-sciences.

Ce propulseur placé au plus bas de la fusée, est maintenu aligné dans l'étage de propulsion par le **bloc de support des ailerons**, une pièce imprimée en plastique PLA qui est aussi chargée de fixer les **trois ailerons** de la fusée.

Les contraintes de poussée sont transférées au véhicule par la bague de poussée, une pièce également imprimée en 3D mais avec **taux de remplissage bien plus élevé** afin de résister à la force du moteur et de répartir celle-ci sur toute la surface inférieure du bloc de support des ailerons. Nous avons également ajouté une bague en aluminium en bas de la fusée pour encaisser les efforts au décollage.

La partie propulsion s'occupe également de **maintenir la stabilité** de la X-FLR7 durant la phase ascendante, pour cela le bloc propulsion comprend **trois ailerons dimensionnés** et **usinés en aluminium**. Ceci sont fixés au bloc de support ailerons par quatre **vis-écrous** chacun. Enfin le bloc propulsion est fixé au corps de la fusée par neuf vis.



Système d'Éjection

Le système d'éjection de la X-FLR7 a pour rôle de **stocker puis déployer** le système de retour du véhicule. Placé au centre de la fusée, il occupe la **majorité du volume interne** disponible.

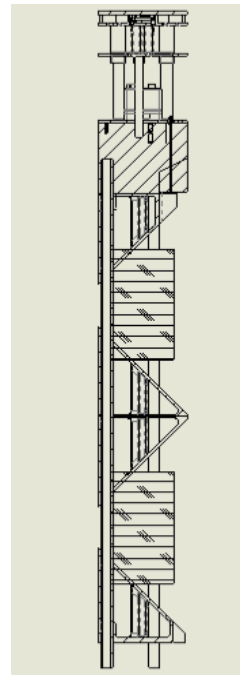
Il est formé de **deux compartiments** pour le système de retour et d'une **trappe latérale** pour le déploiement. Cette dernière est faite de **fibre de verre et époxy**.

Durant la phase ascendante, la trappe est maintenue fermée par **deux plaquettes** à chaque extrémité.

La plaquette inférieure est fixée à la trappe et imprimée en 3D tandis que la supérieure est **contrôlée en position par un servomoteur** électrique lui-même asservi à la minuterie et est composée d'**aluminium**.

Lorsque la **plaquette supérieure est relevée** par le servomoteur, **deux ressort** jusque là comprimés, **éjectent la trappe** vers l'extérieur libérant ainsi le système de retour.

Afin de simplifier le déploiement du système de retour, **deux toiles en lycra** sont tendues entre les tiges structurales du bloc, ces dernières, en reprenant leur forme, poussent le **système de retour** vers l'extérieur dès la pression de la trappe relâchée.



Minuterie

Le rôle de la minuterie est de [contrôler le système d'éjection](#). Celle-ci se compose principalement d'un circuit électronique type [Arduino Nano](#), alimenté par une [pile 9V](#) standard (voir code et annexe 3 pour schéma électrique)

La minuterie est enclenchée via un [interrupteur d'armement et un détecteur de décollage](#) qui lance alors un compte-à-rebours de [huit secondes](#) avant de déclencher la séquence de déploiement du système de retour.

Le détecteur de décollage est formé d'une [prise jack femelle](#) dans laquelle est inséré une prise jack mâle qui est fixée au sol par un câble, lors du décollage la [prise mâle est arraché](#) ce qui est détecté par l'Arduino.

Une fois le compte à rebours terminé, le microcontrôleur Arduino ordonne au [servomoteur de relever la plaquette](#) supérieure du système d'éjection, provoquant alors le déploiement du système de retour.

Finalement, l'Arduino [indique constamment la phase de vol](#) dans laquelle il se trouve grâce trois led placés à côté du détecteur et de l'interrupteur.

Système de Retour

Le système de retour est également l'[expérience embarquée](#) de notre Minifusée, il est formé de [deux petits parachutes indépendants](#) (à opposer à l'unique grand parachute de la plupart des Minifusées).

Les deux parachutes sont fait de [deux pièces de tissus circulaires](#) et percées en leur centre d'un trou également circulaire de 30 mm de rayon. Chaque parachute possède ainsi une surface de [0.16 m²](#) pour un total de [0.32 m²](#).

Ils sont attachés au reste du véhicule par une [sangle de 1.8 m](#) pour le [parachute supérieur](#) et [2.3 m pour l'inférieur](#). Ces sangles sont fixées à la tige métallique arrière du système d'éjection.

Pendant la phase ascendante, les parachutes sont [stockés dans le système d'éjection](#) avec chacun son compartiment.

Enfin la [trappe du système d'éjection est attachée](#) à la sangle du parachute inférieur afin d'éviter qu'elle ne retombe de manière non contrôlée.

Construction

Contraintes et Choix de Matériaux

La X-FLR7 contient de nombreuses pièces complexes que nous avons décidé de réaliser en [impression 3D de plastique PLA](#). Ce choix nous a offert une très [grande flexibilité](#) dans la forme de nos pièces, ce qui s'est avéré très utile lors de la modélisation de la minuterie en permettant de [limiter le nombre de pièces](#) à imbriquer tout en maintenant une bonne [rigidité structurelle](#).

Nous voulions initialement faire certaines de ces pièces en [aluminium](#) mais le [coût](#), le [temps](#) d'attente pour la fabrication des pièces et les [incertitudes](#) sur les tolérances de certaines autres pièces qui devait rester parfaitement compatible, nous ont convaincus de réaliser ces pièces en [impression 3D](#). Cela nous a permis de [commencer rapidement](#) la fabrication via les imprimantes de l'école et de [corriger les potentiels défaut](#) de tolérance de ces pièces à chaque [itération](#) sans devoir attendre trop longtemps.

Les seules pièces en aluminium de la fusée sont ses [trois ailerons](#), découpés dans une [plaque de trois mm](#) d'épaisseur, et la [bague de poussée](#). En effet, ceux-ci subissent, durant le vol, des [contraintes aérodynamiques](#) très importantes qui, couplé à leur [grande taille](#), rendent complexe une impression en 3D.

La peau du corps du véhicule est composée d'un [cylindre en fibre de verre et colle époxy](#), moulée autour d'un [tube en PVC de 63 mm](#) de diamètre. Ce matériau nous apporte un corps souple, résistant et surtout [très léger \(150g\)](#).

Enfin, l'ensemble des pièces à préalablement été [pensé et proposé](#) dans des réunions de groupes, souvent [dessiné sur tableau blanc](#) avant d'être [intégré dans un modèle Solidworks](#) de la X-FLR7. Ces pièces ont ensuite été dimensionnées grâce au [modèle Solidworks](#), aux [contraintes du cahier des charges et de la peau](#) (l'une des premières pièces réalisées) mais aussi grâce à l'outil [StabTraj](#) qui fournit une simulation du vol en fonction de certains paramètres.

Organisation

Organisation temporelle

Au commencement du projet, nous espérions pouvoir définir un **emploi du temps** assez **précis**, qui définirait l'**avancement du projet** sur le reste de l'année. Cependant, nous avons rapidement réalisé que certains facteurs sur lesquels nous n'avions aucune influence allaient **compromettre cette vision du projet** (disponibilité des matériaux, des machines, manque d'informations, ...).

Pour remédier à ce problème, nous avons décidé de découper le projet en **différentes tâches**, plus ou moins chronophages et urgentes, et de les regrouper sur un **document Excel** en ligne. Nous les avons ensuite effectuées selon l'ordre de priorité (1 : facultatif à 5 : urgent) et la **disponibilité** des **membres** et des **ressources** (Cf Fig.3 et Fig.4).

De plus, certaines **dates de rendu** étaient **imposées** par Planète Sciences. En voici le détail :

- 28/10/23 : RCE 1, **définition** et discussion sur les **détails du projet** (facultative)
- 30/11/23 : Fin d'inscription des projets + **envoi des dossiers** de définition
- 04/02/24 : RCE 2, suivi de l'**avancement à mi-parcours** (obligatoire)
- 07/04/24 : Envoi des **StabTrajs**
- 08/06/24 : RCE 3, présentation d'une **fusée finie** pour la **validation** (obligatoire)
- 06/07/24 – 13/07/24 : **C'space**

Bien que celles-ci soient globalement en accord avec notre vision du projet, cela nous imposait de **revoir** notre **ordre de priorité**, et parfois de faire des **modifications** après la date de rendu. Par exemple, le StabTraj, censé s'adapter aux dimensions (longueur, masse, centre de gravité, ...) de la fusée, a été modifié plusieurs fois après son rendu.

Enfin, une **réunion** était souvent organisée **les jeudis après-midi** pour faire un **bilan de l'avancement** du projet, avancer sur les **tâches les plus importantes**, et anticiper la **prochaine réunion** en se répartissant des tâches à **préparer en amont**.

Répartition des tâches

Afin de **s'organiser au mieux** et d'**être efficaces** sur le projet, nous avons complété la **répartition des tâches** en y incluant le(s) **membre(s)** de l'équipe **qui la réaliserait**. Cela nous a permis :

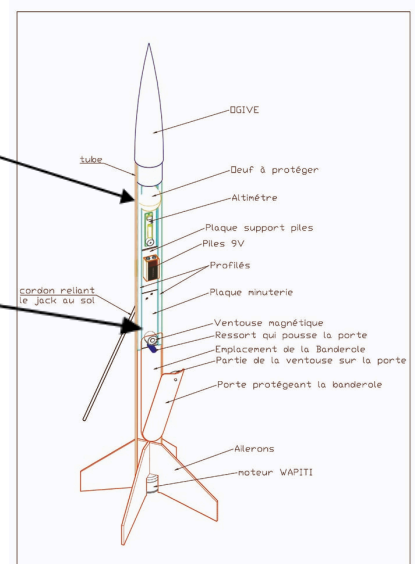
- d'avancer sur des **tâches non-urgentes** mais utiles par la suite
- de se concentrer sur les **domaines où nous étions** les plus qualifiés
- d'organiser à l'avance les actions à faire, et **prévoir le temps et le matériel** nécessaire

Pour certaines parties comme la réalisation de la **peau de la fusée**, ou encore les **choix techniques** dans la conception, nous avons préféré **nous réunir** pour être sûrs que le projet convienne à tout le monde.

Une fois le **modèle numérique terminé**, un nouvel espace sur la **répartition des tâches** a été créé pour **gérer l'impression des pièces** en 3D. En effet, le **nombre de pièces** à imprimer et les différentes versions successives ont rendu la **gestion des pièces complexe**. Nous avons vu précédemment que de **nombreuses itérations** ont été effectuées pour arriver à un **modèle final** complet et fonctionnel (actuellement, le projet en est à sa **6^{ème} version**) et nous avons dû **réimprimer des pièces** n'étant **plus compatibles** avec les nouvelles versions, 2 voire 3 fois pour certaines.

Nous avons évoqué précédemment le fait de nous répartir les tâches en fonction de nos connaissances personnelles et compétences techniques. On pourrait alors définir un rôle par membre du projet:

- Paul (compétences techniques: électronique, arduino):
 - ◆ Conception et réalisation de la minuterie
 - ◆ Conception de la CAO du bloc minuterie
 - ◆ Assemblage des pièces définitives
- Gabriel (compétences techniques: algorithmique, couture):
 - ◆ Calcul de la stabilité et trajectoire de la fusée
 - ◆ Dimensionnement et réalisation des parachutes
 - ◆ Mise en plan et schémas de l'assemblage
- Léo (compétences techniques: CAO, participation depuis la 1A)
 - ◆ Chef de projet
 - ◆ Gestion des ressources et suivi du dossier
 - ◆ conception de l'architecture globale.



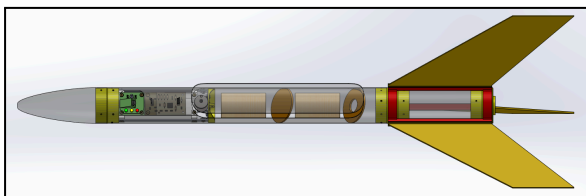
[L'expérience: système de double-parachute](#)

La difficulté principale lors de la conception de la fusée a été la [mise en place de l'expérience](#), à savoir la récupération à [2 parachutes](#). En effet, bien qu'elles soient optionnelles et donc absentes dans la plupart des mini-fusées de l'ESO jusqu'en 2022-2023, les expériences sont depuis cette année [vivement encouragées](#) pour tous types de fusées. Cela permet de ne pas lancer de fusées à vides, dans un contexte où les propulseurs de mini-fusées sont très chers et en rupture de stock.

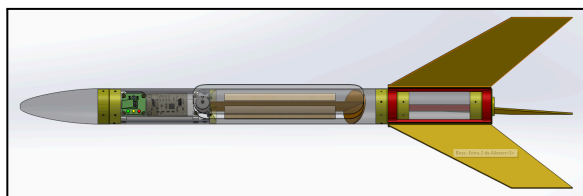
Ici, il s'agit d'un [problème de place](#) dans la fusée. D'habitude, l'unique parachute doit pouvoir maintenir une vitesse de chute comprise entre [5 et 15 m.s⁻¹](#) à la fusée (aspects sécuritaires du cahier des charges). Il doit être assez grand et soigneusement plié dans le corps. Nous avons donc dû nous adapter pour réussir à faire tenir dans une fusée, bien que [légèrement allongée](#), les 2 parachutes ainsi que les pièces garantissant leur bonne éjection, notamment les [4 plans inclinés](#). Nous avons alors créé plusieurs modèles. par exemple:

- Parachutes superposés verticalement avec 1 trappe ([image de gauche](#))
- Parachutes cote à cote avec 1 trappe ([image de droite](#))
- Sortie par 2 trappes opposées symétriques

Après réflexion, la première option nous a semblé la meilleure pour ses avantages structurels, et la facilité d'éjection des parachutes.



Parachutes Superposés



Parachutes Parallèles

Les difficultés restantes étaient alors d'empêcher [les parachutes de s'emmêler](#) entre eux à l'ouverture, et de contrôler la vitesse de descente. Pour le premier point, nous avons décidé d'[attacher le parachute du bas à la trappe](#), afin de l'extraire en premier de la fusée à l'apogée (en phase encore légèrement montante pour des raisons de sécurité). Ensuite la [longueur des suspentes](#) a été conçue pour les empêcher de se chevaucher, et donc de maximiser leurs performances. Pour le deuxième point, il a fallu faire des calculs sur le StabTraj pour garantir:

- une vitesse inférieure à [15 m.s⁻¹](#) si un seul parachute venait à s'ouvrir
- une vitesse supérieure à [5 m.s⁻¹](#) si les 2 parachutes s'ouvrent correctement

Impression des pièces

Nous avons vu précédemment que l'avancement du projet dépendait grandement de la [disponibilité du matériel](#), en particulier des 3 imprimantes 3D accessibles au FabLab de l'école. En effet, Il fallait s'assurer qu'[au moins une d'entre elles était fonctionnelle](#) et réglée avec la bonne taille de buse. La plupart des impressions se font avec une buse de 0.4 mm (meilleur compromis précision/temps d'impression) ou 0.6 ou 0.8 mm pour des pièces demandant moins de précision. Cependant, comme les pièces de mini-fusées sont de taille raisonnable, nous avons [besoin de buses de 0.4 mm](#). Or, il n'y avait souvent qu'une imprimante permettant cette précision.

De plus, les imprimantes sont accessibles [à toutes les associations](#), et leur paramètres sont [souvent changés](#), ce qui cause une multitude de problèmes dont voici une liste des principaux:

- L'[imprimante est bouchée](#), le plastique fondu ne peut pas sortir de la buse (cas le plus fréquent)
- Le [filament s'est emmêlé](#) sur la bobine et s'est bloqué, l'imprimante ne peut plus le tirer et fonctionne à vide
- Les [réserves de filament sont vides](#), il faut attendre que la trésorerie commande de nouvelles bobines
- La seule bobine disponible est [utilisée par un autre membre](#) de l'association, il faut reporter l'impression

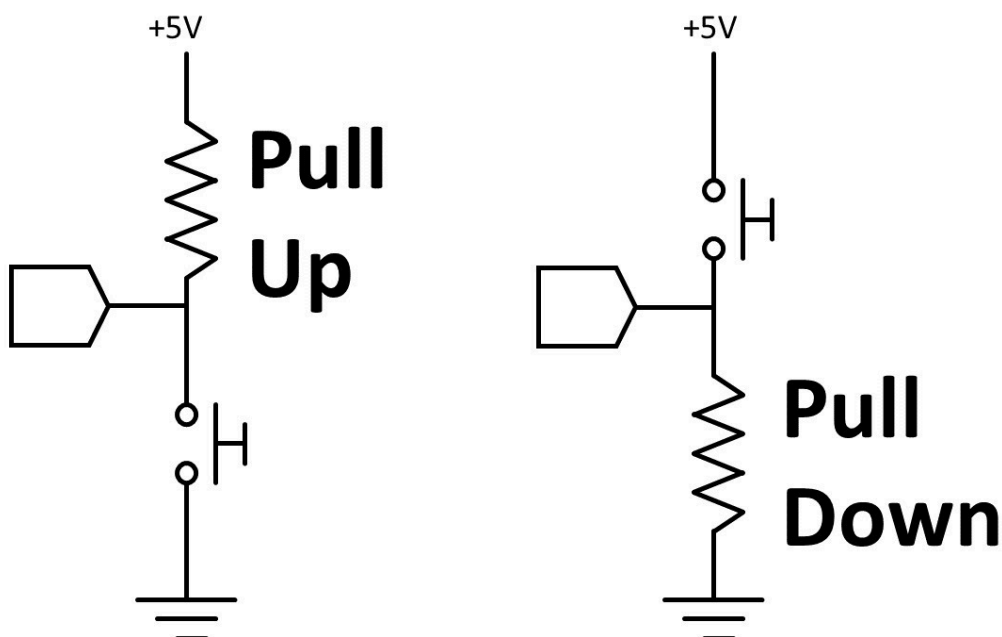
Il nous restait une option pour palier à ce problème, car certains membres du groupe possédaient une [imprimante à leur domicile](#). Cela a permis de réaliser quelques pièces plus rapidement. Cependant, ce n'est pas une option viable pour tout le projet car cela [empêche de tester directement les pièces](#) et implique quand même des délais. Enfin, les [paramètres entre imprimantes](#) sont légèrement [différents](#) et il a fallu [beaucoup de ponçage](#) pour pouvoir les assembler.

Système Électrique

Conception

Le système électrique constitue une minuterie, comme décrit précédemment. Elle a été conçue sur la base d'une arduino pour pouvoir effectuer des tests sur le passage du courant au travers de pins de test. Sur le schéma électrique, les pins à gauche de l'arduino numérotés A2 et A5 sont les pins de test, tandis que les pin D7, D5 et D3 sont les pins d'information. Lorsque le pin A5 ne reçoit plus de courant, le pin D7 devient alimenté pour prévenir l'armement ou non de la minuterie, le pin D5 est toujours alimenté puisqu'il prévient si le circuit est sous tension en alimentant la LED rouge. Lorsque les pin A5 et A2 ne sont plus alimentés, le pin D3 devient actif pour prévenir du lancement de la fusée. Après un décompte, c'est le pin D9 qui devient alimenté pour ordonner au moteur d'ouvrir la trappe.

Lorsqu'on effectue des tests sur le passage ou non de courant, il faut pouvoir éviter les interférences électriques qui faussent les tests, on rencontre ces interférences lorsque le pin est dit "flottant" c'est-à-dire que le pin n'est pas relié au ground (GND), les interférences viennent alors des câbles qui captent les résidus électriques dans l'air (l'arduino capte ces interférences, le courant n'est donc pas totalement nul), et créent une sorte d'aléatoire dans les tests. Pour cela il suffit simplement de garder le potentiel du circuit test à 0V en le connectant sur le ground. Maintenant il faut pouvoir éviter d'envoyer tout le courant qui devait passer au test dans le ground, pour cela on place simplement une grande résistance dite de "pull down" avant le ground. Avec cette technique, cela nous permet d'avoir un pont diviseur de tension. Quand le courant circule, la majorité va vers le pin de test tandis que la grosse résistance empêche le courant, lorsque l'autre fil est interrompu alors le pin devient directement relié au ground et le potentiel électrique s'équilibre à 0V, coupant toutes les interférences externes.



Code

```
// ===== Preparation Programme ===== //
```

```
#include <Servo.h>
```

```
// ----- Preparation Cablage ----- //
```

```
// controle servo //
```

```
#define SERV 9 //controle servomoteur pin 9
```

```
// Panneau de Commande //
```

```
#define ALLUM 7 // led rouge: indique que l'arduino est allimenté, dès  
que la pile est connecté
```

```
#define ARME 5 // led verte: indique que l'arduino est en attente de  
detection du decolage, tant que l'interrupteur switch est actif
```

```
#define FLY 3 // led bleu: indique que l'arduino à detecté le  
decolage, la minuterie est lancé, impossible à éteindre sauf reset  
arduino
```

```
#define SW 19 // broche de retour de l'interrupteur switch A5
```

```
#define PJ 16 // broche de retour de la prise jack
```

```
#define Time 6600/4 // temps (a utiliser avec parcimonie)
```

```
// ----- Preparation Servo (1) ----- //
```

```
Servo servo_para;
```

```
int servo_pin = SERV;
```

```
int pos = 0;
```

```
// ----- Preparation detection vol -----  
//
```

```
int vol = 0;
```

```
int Erreur = 0;
```

```
// ===== Programme Principal ===== //
```

```

void setup()
{
    // ----- Preparation Servo (2) ----- //
    Serial.begin(9600);
    servo_para.attach(servo_pin);
    servo_para.write(pos);
    delay(150);

    // ----- Preparation Panneau ----- //

    pinMode(ALLUM, OUTPUT); // lampe rouge s'allume => micro
                             // controleur alimenter et allumer
    digitalWrite(ALLUM, HIGH);

    pinMode(ARME, OUTPUT);
    pinMode(FLY, OUTPUT);

    // prepare l'armement de l'ordinateur
    pinMode(SW, INPUT_PULLUP); // on test le retour sur SWIN

    // prepare la detection du decollage
    pinMode(PJ, INPUT); // on test le retour sur PJIN

    // ----- vrai minuterie ----- //

    reset:
    digitalWrite(FLY, LOW);
    vol = 0;
    for (pos = 0; pos <= 40; pos += 1)
    { // de 40° à 0° pas de 1°
        servo_para.write(40-pos); // avance de 1°
        delay(15); // attend que le servo ai fini
    }
    //detection decolage
    delay(1000); //1s tes
    while(vol!=1)
    {

        delay(10);
        if(digitalRead(SW))
        {

```

```

    digitalWrite(ARME,LOW); // ordinateur armé

}
if(!digitalRead(SW))
{
    digitalWrite(ARME,HIGH); // ordinateur desarmé: si l'interupteur
n'est pas enclenché , la minuterie ne demare pas
    // permet d'empeché un eclenchement prématuré
    Serial.println(digitalRead(PJ)); //serial monitor
}
if(!digitalRead(SW) && !digitalRead(PJ))
{
    delay(10);

    if(!digitalRead(SW) && !digitalRead(PJ)) // decolage detecté
    {
        digitalWrite(FLY,HIGH);
        vol=1;
    }
}
}
if(digitalRead(PJ))
{
    goto reset;
}
delay (Time);
Serial.println(digitalRead(PJ));
if(digitalRead(PJ))
{
    goto reset;
}
delay (Time);Serial.println(digitalRead(PJ));
if(digitalRead(PJ))
{
    goto reset;
}
delay (Time);
Serial.println(digitalRead(PJ));
if(digitalRead(PJ))
{
    goto reset;
}
}

```

```
delay (Time);
Serial.println(digitalRead(PJ));

//ouverture parachute
for (pos = 0; pos <=40; pos += 1)
{ // de 0° à 40° pas de 1°
  servo_para.write(pos); // avance de 1°
  delay(15); // attend que le servo ai fini
}

// ----- fin programme ----- //
while(true)
{
  digitalWrite(FLY,HIGH); // lampe bleu clignote indiquant la fin
de la sequence
  delay(1000);
  digitalWrite(FLY,LOW);
  delay(1000);
  if(digitalRead(PJ))
  {
    goto reset;
  }
}
}
```

Résultats du C'space

Nous avons choisi de faire usiner les pièces métalliques (ailerons et bagues de poussée) en dehors de l'école pour garantir un usinage précis. Cependant, ces pièces ont pris du retard et nous les avons reçues la veille de notre départ au C'space. Il a donc fallu peindre et assembler les ailerons sur place. En plus de ce contre-temps, le problème des interférences sur la minuterie a pris 3 jours à être résolu, le temps de comprendre l'origine du problème, faire les modifications nécessaires et régler des problèmes de faux contacts apparus à cause des soudures trop nombreuses.

Finalement, après avoir résolu tous ces problèmes, nous avons passé le dernier test de vol simulé le jeudi matin. Après un résultat très satisfaisant, un temps d'ouverture de la trappe correct et une bonne sortie des parachutes, nous nous sommes dirigés vers la zone de tirs.

La fusée a décrit une très belle trajectoire parabolique sur la 1ère phase de vol, malgré le StabTraj final la qualifiant de quasi-instable.



La fusée au décollage

Le vol a été parfaitement nominal! La trappe s'est ouverte à l'apogée, les parachutes se sont ouverts correctement tous les 2 et la fusée est retombée verticalement, comme souhaité. L'atterrissage sur les ailerons a permis de garder la fusée intacte et un 2ème vol aurait pu être réalisé directement, sans réparation à apporter.

Cependant, il est important de remarquer que l'expérience des 2 parachutes n'était pas sans risque. En effet, quelques secondes après l'ouverture des parachutes, la trappe, qui était reliée au parachute le plus haut (parachute du bas avec une corde plus longue) s'est mise à tourner rapidement autour du parachute.

Les photo ci-dessous illustrent bien les différentes phases de l'ouverture:



On voit que la trappe aurait pu s'emmêler avec les suspentes de parachute, causant une torche. Heureusement, en raison de sa taille et de sa légèreté, elle est restée au dessus du 2^{ème} parachute.

Conclusion

Le projet X-FLR 7 nous a permis de concevoir et de réaliser une mini-fusée entièrement sur l'année 2024-2025. Bien que simple en comparaison des autres projets réalisables au C'space, ce projet nous a permis de nous rendre compte des enjeux et des difficultés qui interviennent à chaque étape de la conception, et de nous adapter aux contraintes matérielles, temporelles, etc.

Nous avons également compris que notre expérience, basique en apparence, comporte de nombreux aléas. Nous sommes heureux d'avoir pu faire valider et lancer la fusée, et encore plus d'avoir effectué un vol nominal et récupérer la fusée en bon état. Nous retiendrons que, malgré les risques, le résultat final a dépassé nos attentes.

Cette expérience nous a beaucoup enseigné sur la réalisation d'une fusée. Aussi, nous ne comptons pas nous arrêter maintenant. Dès l'année prochaine, l'équipe du projet X-FLR 7 compte se joindre à d'autres membres afin de travailler sur une fusée expérimentale, dans le but de la lancer au C'space 2025.



Annexe 1: Mise en Plan

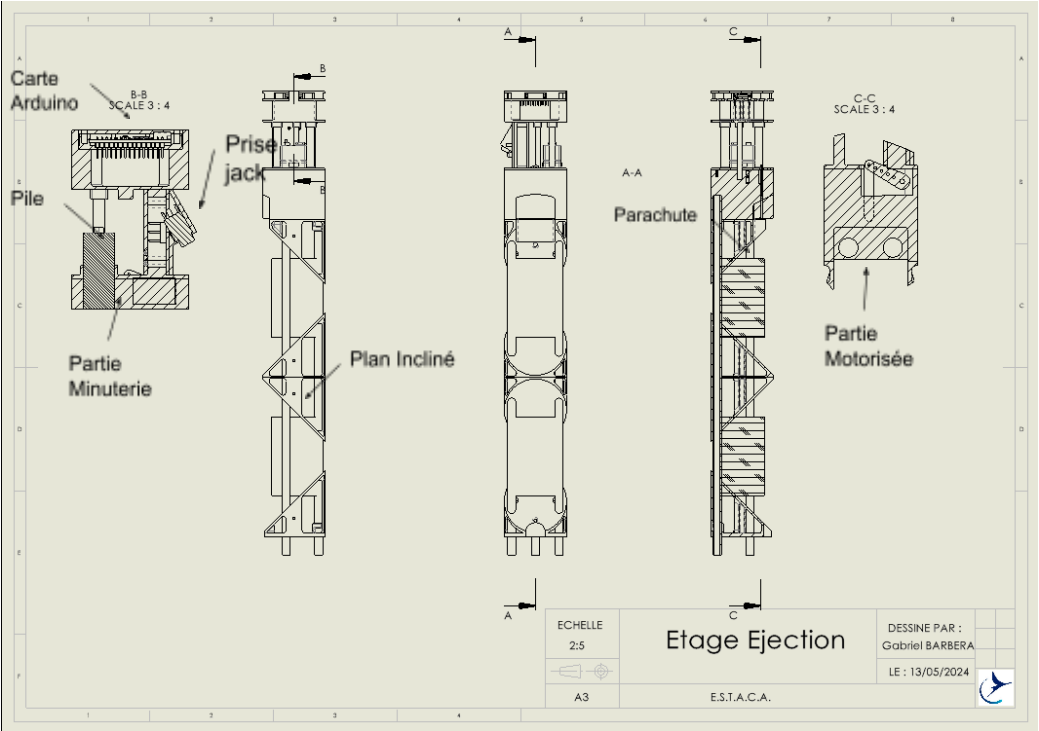


Fig.1 : Mise en Plan de L'étage d'Éjection

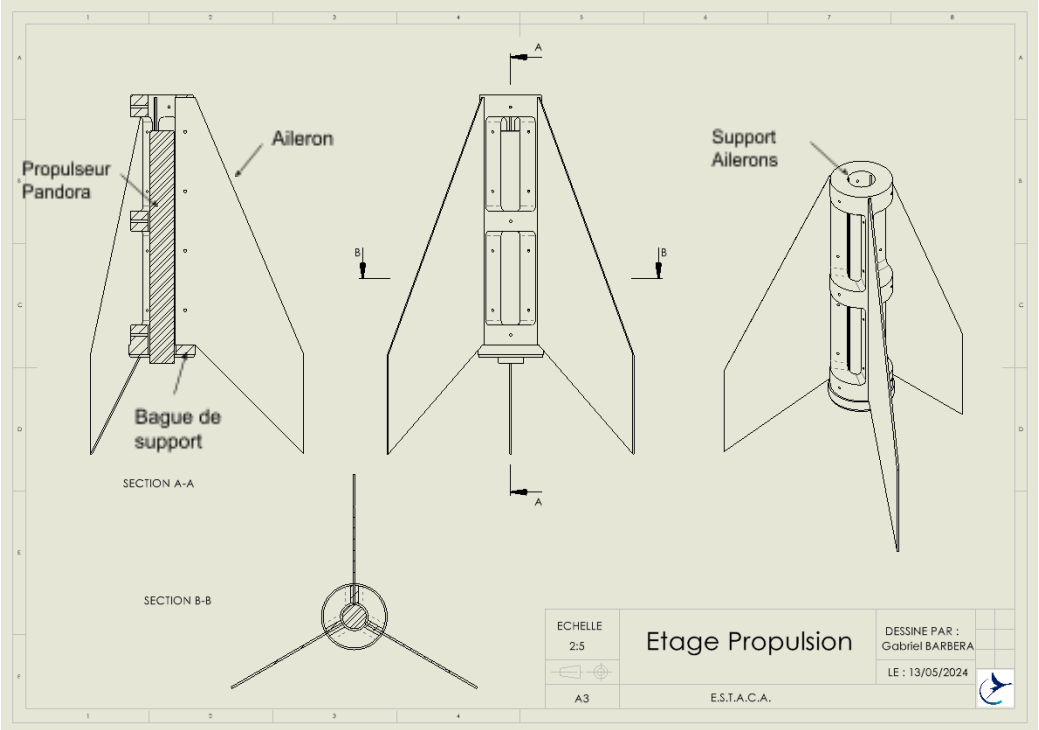


Fig.2 : Mise en Plan de L'étage de Propulsion

Annexe 2: Organisation du projet

Tache	Priorité	Personne 1	Personne 2	% Avancement	Avancement	Détails supplémentaires
Trouver SLDPRT arduino / modifier carte manuellement	Fait ▼	Paul ▼	Léo ▼	100		>>> GrabCAD
Créer plusieurs versions de supports de parachutes	Fait ▼	Léo ▼	▼	100		
Placer vis fixation bague centrage à travers support ailerons	Fait ▼	Léo ▼	▼	100		
Concevoir modèles éjection trappe	Fait ▼	Gabriel ▼	Léo ▼	100		
Poursuivre la minuterie	Fait ▼	Paul ▼	▼	100		
Faire la peau	Fait ▼	Tous ▼	▼	100		Prévoir 1 semaine où tim est dispo
Calcul centrage	Fait ▼	Paul ▼	Léo ▼	100		
Demandeur validation ailerons 3D SCAE	Fait ▼	Léo ▼	▼	100		
Dimensionner parachutes	Fait ▼	Gabriel ▼	▼	100		
Faire parachutes	Fait ▼	Gabriel ▼	▼	100		
Dimensionnement pièces (impression)	Fait ▼	Gabriel ▼	Léo ▼	100		0,3 mm chaque coté réduction = -0,6 mm diamètre
Pièce de test pour le support ailerons (test moteur + peau)	Fait ▼	Léo ▼	▼	100		
Choix def ailerons alu ou 3D	Fait ▼	Tous ▼	▼	100		demandeur SCAE + adapter stabtraj en conséquence avec form
Design de peinture	Fait ▼	Louis ▼	▼	100		
Tiges fixation parachute	Fait ▼	Léo ▼	▼	100		
Refaire minuterie propre et fonctionnelle	5 ▼	Paul ▼	Léo ▼	50		prendre en compte la fixation des pièces intérieures (passage d
Modifier support ailerons pour adapter vis	5 ▼	Léo ▼	▼	75		
Ejection 2 parachutes	5 ▼	Tous ▼	▼	80		
Lister toutes les pièces à imprimer	5 ▼	Léo ▼	▼	80		
Fixation toile élastique compression parachute *2	4 ▼	Gabriel ▼	▼	20		
Stabtraj actualisé	3 ▼	Gabriel ▼	Léo ▼	50		Deadline 07/04 (masse 1,2 => 1,5 kg) choix ailerons
Faire les patins	3 ▼	Léo ▼	▼	0		passage vis à l'intérieur pour solidité
plans / screens / vues du mécanisme pour SCAE	2 ▼	Léo ▼	▼	33		
Trouver alu ailerons	2 ▼	Gabriel ▼	Louis ▼	0		
schémas / organigrammes du montage élec	1 ▼	Paul ▼	Gabriel ▼	0		
Peinture	1 ▼	Louis ▼	▼	50		

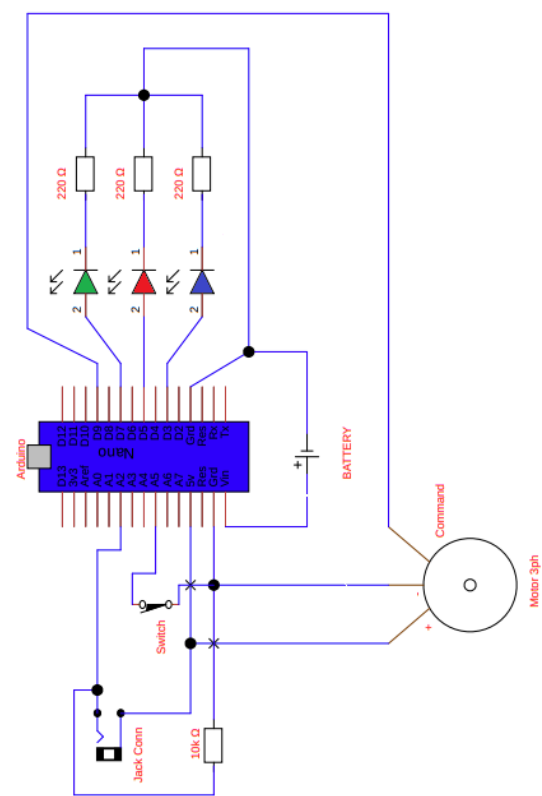
Fig.3 : Tableau de répartition des tâches

Impression 3D	Niveau priorité	Personnes	Détails supplémentaires
Test ogive	Fait ▼		03/04/24
Ogive	Fait ▼		V1 29/03/24 - V2 03/04/24
Ailerons	Fait ▼		Changer pour aluminium
Test ailerons	Fait ▼		29/03/24
Support arduino	Fait ▼		
Fixation haut trappe	5 ▼		
Bloc éjection V3	5 ▼		
Carte Jack dessus	4 ▼		03/04/24
Carte Jack dessous	4 ▼		03/04/24
Fixation sortie parachute	3 ▼		
Bloc ailerons	3 ▼		
Patin *2	2 ▼		
Truc perçages *4	2 ▼		
Fixation bas trappe	1 ▼		

Fig.4 : Tableau d'avancement des impressions 3D

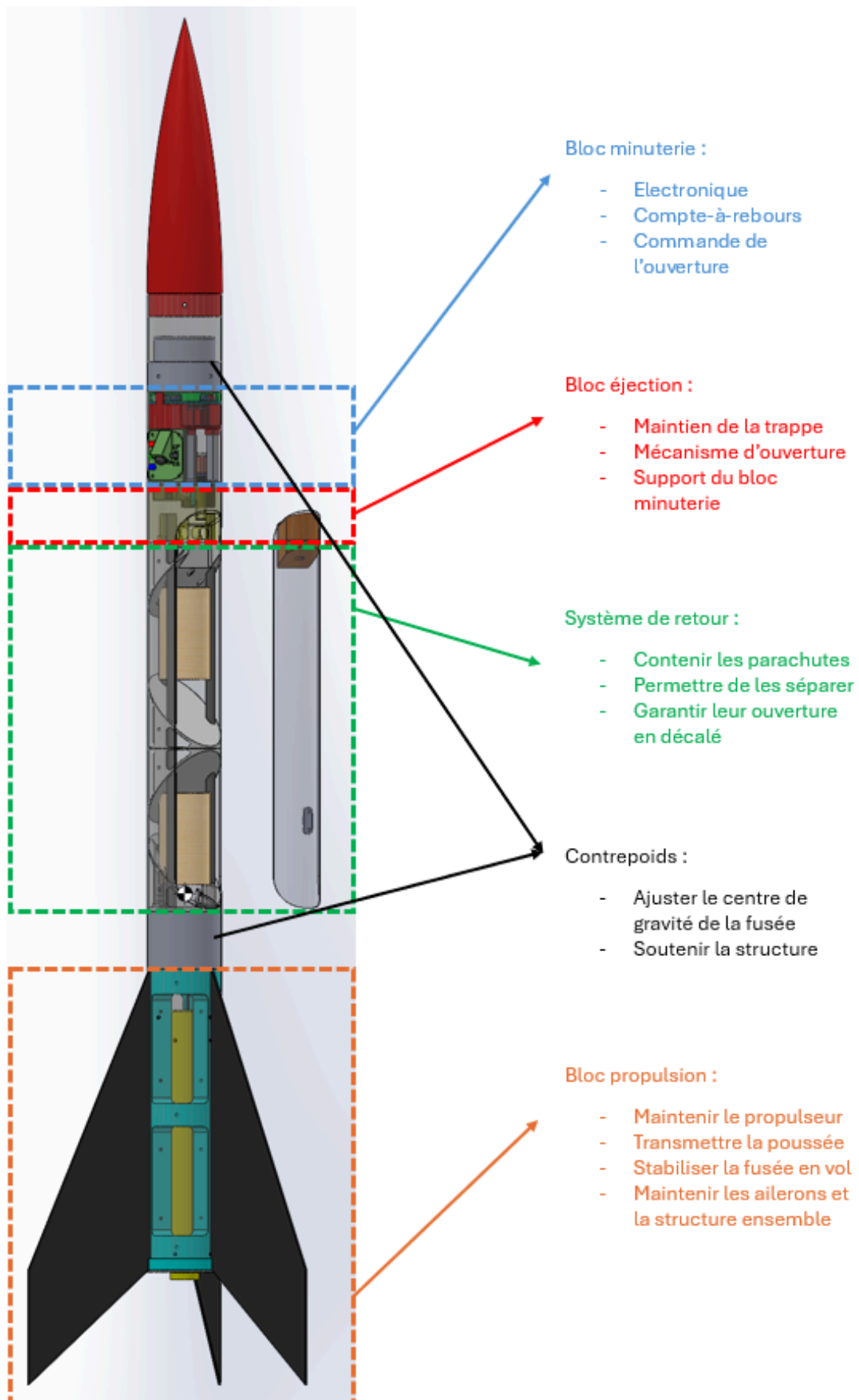
Annexe 3: Schéma électrique

Fig 5 : Schéma Électrique de la Minuterie de la X-FLR7



Title	Shema electrique de la minuterie
Author	Gabriel BARBERA et Paul BOULAY-HARLAUT

Annexe 4: plan de la fusée



Annexe 5: Stabtraj

STABILITO

Stabilité de fusée à ailerons

Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	XFLR-7
Club	ESO
Type	Minifusée
Masse	1450 g
Centre de Masse	600 mm
Longueur totale	1000 mm

Propulseur	
Type	Pandora (Pro24-6G BS)
Position du bas	1000 mm

Coiffe	
Forme	Ovale (pointue)
Hauteur	240 mm
Diamètre	65 mm

Ailerons	
Mono-empennage	
Emplanture 'm'	290 mm
Saumon 'n'	150 mm
Flèche 'p'	260 mm
Envergure 'E'	110 mm
Epaisseur 'ep'	2 mm
Nombre	3
Position du bas	1000 mm

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	1.61 kg	1.534 kg	1.45 kg
CdM fusée	628 mm	616 mm	600 mm

	XCp	Cnd
Coiffe	112 mm	2.0
Ailerons	883 mm	17.5

Propulseur	
Haut	772 mm
Longueur	228 mm
Bas	1000 mm

Ailerons bas	
Haut	710 mm
Emplanture	290 mm
Bas	1000 mm

8/31/2024	Min	Résultats	Max
Finesse	10	15.4	20
Portance	15	19.5	30
MargeStat.	1.5 D	2.70 D	2.90 D
Couple	30	52.6	56.5
XCp		804 mm	804 mm
MS /L		18% L	19% L

STABLE

Diagramme des critères de stabilité

Checksum : propu OK v3.4.2

TRAJECTO

Trajectographie de fusée

Remplir les cases jaunes

Fusée	
Nom	XFLR-7
Club	ESO
Masse totale	1.6099 kg
Propulseur	Pandora (Pro24-6G BS)

Trainée Aérodynamique	
Surface Réf.	0.003978 m²
Cx	0.5

Rampe de Lancement	
Longueur	2.5 m
Élévation	80 °
Altitude	0 m

DescenteSousParachute	
Fusée	0 satellite
Masse	1.5343 kg
Dépotage	N/A
Ouverture para	7 s
Surface para	0.14 m²
Cx parachute	1
Vitesse du vent	5 m/s
Vitesse descente	13.3 m/s
Durée descente	22 s
Durée du vol	29 s
Déport latéral	± 109 m

8/31/2024	Temps	Altitude z	Portée x	Vitesse	Accélération	Efforts
Sortie de Rampe				23.9 m/s		
Vit max & Acc max				79 m/s	140 m/s²	
Culmination, Apogée	7.8 s	294 m	102 m	13 m/s		
Ouverture parachute fusée	7.0 s	291 m	92 m	15 m/s		19.3 N
Impact ballistique	15.9 s	~0 m	196 m	68.8 m/s		3527 J

Pour localiser la fusée	
Couleur fuselage/coiffe	Brun/Orange...
Couleur parachute fusée	Rouge...

Commentaire libre :

propu OK v3.4.2

Calcul de la surface d'un parachute

Longueur du bord	400 mm
Largeur du côté	50 mm
Surface para	0.24 m²

Rayon extérieur	210 mm
Rayon intérieur	14 mm
Surface para	0.14 m²

Résultats détaillés

	Temps	Altitude z	Portée x	Vitesse	Accélération	Angle
Décollage	s	m	m	m/s	m/s²	°
Sortie de Rampe	0.21	2.42	0.43	23.9	113.2	80.0
Vit max & Acc max	-	-	-	79	139.7	-
Fin de Propulsion	1.1	55	11	77	14.5	78.4
Culmination, Apogée	7.8	294	102	13	9.8	1.0
Impact ballistique	15.9	~0	196	69	6.2	-81.7
Ouverture parachute fusée	7.0	291	92	15	9.9	32.4
Impact fusée sous para.	29	~0	-17 201	13	9.8	-

Annexe 6: Chronologie

	CHANGEMENT DE LA PILE
	Dévisser le poids supérieur et l'ogive
	Enlever le poids supérieur et l'ogive
	Enlever la trappe avec un faux décollage
	Dévisser et retirer le tableau de bord (3 vis M2.5 long)
	Dévisser la minuterie et le bloc de retour de la peau (10 vis M2.5 courtes)
	Déboîter les tiges et le bloc moteur
	Retirer partiellement le bloc retour pour accéder aux trous à vis /\ attention minuterie /\
	Dévisser les vis Bloc Retour-Minuterie
	Détacher la minuterie
	Débrancher la pile et la changer /\ vérifiez tension pile NEUVE /\
	Rattacher la minuterie aux tiges
	Visser la minuterie et le bloc de retour (vérifier la tenue des vis)
	Glisser la minuterie et le bloc retour dans la peau /\ attention partie dépassante de la minuterie /\
	Emboîter les tiges et le bloc moteur
	Monter le tableau de bord et le visser (M2.5 longue - bas gauche non fonctionnelle)
	Visser la minuterie et le bloc de retour avec la peau
	Installer le poids supérieur et le visser (3 vis M2.5 court)
	Installer l'ogive et la visser (4 vis M2.5 court)

	CHARGEMENT SUR ZONE DE LANCEMENT
	Insérer la fusée sur le rail
	Ériger la rampe
	Connecter la prise jack à la rampe (nouer)
	Connecter la prise jack à la fusée
	Brancher la pile
	Vérifier la LED Rouge
	Cacher les fils de la pile
	Mettre un Scotch sur le trou
	Activer l'interrupteur (armé)
	Vérifier la LED Verte
	Partir Zone rampe vers Zone pupitre
	Arrivée pyro Zone pupitre
	Décompte final

Matériel :

	Tournevis cruciforme
	Pince Orange
	Prise Jack
	Pile Neuve 9V
	Scotch

Bibliographie

- Cahier des Charges Mini-fusées de formation
<https://www.planete-sciences.org/espace/Minifusee/Presentation>
- SCAE (site pour le suivi des projets)
<https://www.planete-sciences.org/espace/?lang=fr>
- Documentation ESO
- Fichier des précédentes Minifusées de formation
- Tuteur ESO (Sébastien Didon)
- Documentation officielle Arduino
<https://www.arduino>

