



Club :

Programme DRACOT

Mail : projetdracot@gmail.com

Responsable de projet :

Mathis HERICOURT-DECONFIN

Tel : +33 (0)7 78 33 04 07

Mathis.heridec@gmail.com

DRACOT :

Fusée expérimentale



Membres

Mathis Hericourt—Deconfin

Aimé Lafon

Établissements de formation :

École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes
65000 Tarbes

École Nationale Supérieure des Arts & Métiers
51000 Châlons-en-Champagne

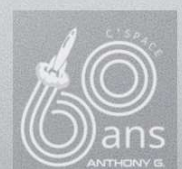


Table des matières :

Table des matières :.....	1
Introduction :.....	2
Présentation.....	3
Présentation de l'association Programme DRACOT:.....	3
Création :	3
Présentation de l'équipe :.....	3
Présentation du projet 2022-2023	4
Ressources disponibles :	4
Ressources Matérielles :	4
Ressource Financière :	5
Ressources humaines :	5
Planning initial :	5
Conception Générale.....	6
Structure Interne	6
Peau externe.....	7
Reprise de poussée, Centrage et retenue moteur.....	7
Ailerons	9
Coiffe.....	9
Porte et système de verrouillage.....	10
Electronique.....	12
Explication générale :	12
Fonctionnement :	12
Code	12
le code Arduino du séquenceur :	14
Parachute	16
Module embarqué.....	16
Points importants de fabrication.....	17
Bonnes idées.....	17
Mauvaises idées.....	17
Exploitation des résultats, et suite du projet :	19
Conclusion	21



Introduction :

Ce rapport sert de présentation du club et de ses objectifs, mais également de rapport de conception, de retour de fabrication, ainsi que de de présentation de la démarche scientifique du projet.

Cette aventure est celle de deux amis, qui, passionnés par le monde de l'aéronautique, ont un jour décidé de réaliser un projet un peu fou : lancer une fusée permettant de larguer un drone.

Ce rapport rendra compte de nos réussites ainsi que de nos échecs et difficultés.

L'objectif étant de produire un document pouvant être bénéfique à de futurs projets.

Pour servir ce but, ce rapport se divisera en quatre parties majeures correspondant aux quatre phases chronologiques du projet :

- Présentation
- Conception,
- Retours de production
- Analyses et Conclusions

Ces phases se mélangeront sûrement quelque peu au fil des mois, mais nous tâcherons de conservons une structure claire et de respecter le planning établi lors de l'avant-projet.



Présentation

Présentation de l'association Programme DRACOT:

Création :

Comme le nom le laisse supposer, l'association a été créée en même temps que le projet DRACOT, pour ce projet.

Programme DRACOT est un club étudiant liant deux écoles d'ingénieur : L'ENIT et L'ENSAM (Châlons-en-Champagne). La création de ce club a été motivé par la volonté de ses membres de s'adonner à des activités aéronautiques/aérospatiales dans un cadre extrascolaire, et par le constat de l'absence de structures existantes. En effet, tant à l'ENIT qu'à l'ENSAM, il n'existe pas de club Espace, bien que ces deux écoles proposent de forts débouchés professionnels dans le domaine.

Le président du club est, en date du 22/11/22, M. Mathis HERICOURT—DECONFIN, et son trésorier est M. Aimé LAFON. Le club compte actuellement deux membres :

- Mathis HERICOURT—DECONFIN
- Aimé LAFON

Présentation de l'équipe :

L'équipe du projet DRACOT se compose donc de 2 membres :

- Mathis HERICOURT—DECONFIN, (ENIT)
- Aimé LAFON, (ENSAM)



Figure 1: Membres de l'équipe, de gauche à droite, Aimé Lafon, Mathis Hericourt--Deconfin

Nous nous connaissons très bien et depuis de nombreuses années. L'avantage d'une petite équipe soudée est d'être plus agile lors de la réalisation du projet. Nous sommes, de plus, sûr qu'aucun d'entre nous n'abandonnera le projet en cours de route.

Les rôles au sein de l'équipe restent à définir mais devraient s'articuler comme ce qui suit :

Mathis	Aimé
Conception	Fabrication
Fabrication (support)	Conception
Communication	Electronique
Gestion de projet	

Figure 2: Répartition des rôles. A noter que, au vu de la taille de l'équipe, les activités n'étaient pas cloisonnées

Présentation du projet 2022-2023

Fusex monoétage pouvant larguer un module inerte en altitude

Le but de l'association Programme DRACOT est à terme réussir à larguer un drone type planneur en altitude. Pour ce faire nous nous sommes fixés 3 ans, et 3000 euros.

Cependant, nous avons participé dès cette année au C'Space pour comprendre le fonctionnement de l'événement (première participation du club). Dans le cadre de cette participation, cette année, notre expérience consiste en **le largage d'un petit module**. Ce module comporte des moyens de mesure de pression et de température permettant de retracer l'altitude de celui-ci au cours du temps.

Ressources disponibles :

Ressources Matérielles :

Pour ce premier projet nous ne disposons que de peu de ressource.

Liste des outils à notre disposition :

- Fraiseuse CN
- Tour Conventionnel



- Perceuses
- Imprimante 3D
- Disqueuse
- Outil multifonction type Dremel
- Pistolet à colle

Ressource Financière :

Le cout total de la Fusex et du module a été d'environ 400 euros tout compris, le but était de consommer le moins d'argent possible du budget global.

Ressources humaines :

2 personnes à temps plein

Planning initial :

Février-Avril : Conception

Avril-Juillet : Fabrication

Cette Fusex n'était initialement pas prévue (initialement une minif), le projet a été proposé par l'équipe de Planète Sciences, car construire une Fusex nous permettait de découvrir l'organisation du C'Space en tant que nouveau club. D'où le planning commençant en février. Un planning aussi serré au vu de l'équipe nécessitait un planning irréprochable, ce qui n'a malheureusement pas été le cas. Toutes les taches ont été faites dans l'urgence, ce qui était une très mauvaise idée...



Conception Générale

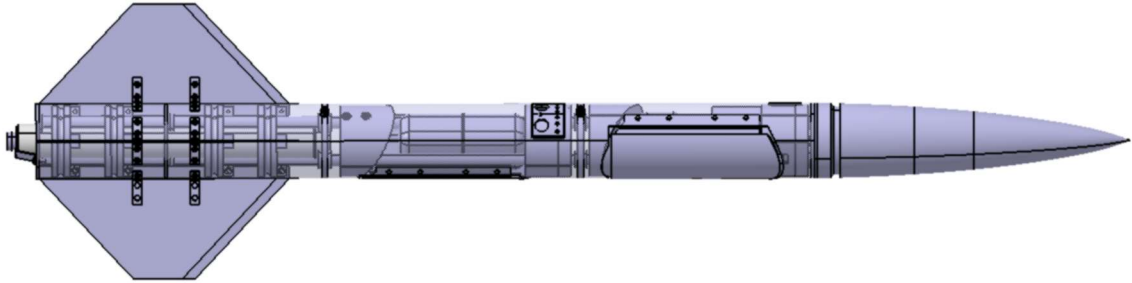


Figure 3: CAO générale

Structure Interne

La fusée est constituée en premier lieu d'une structure interne porteuse, faite de 5 bagues d'aluminium et de 6 tubes de carbone d'environ 40cm de long. Les tubes en carbone sont creux avec un diamètre

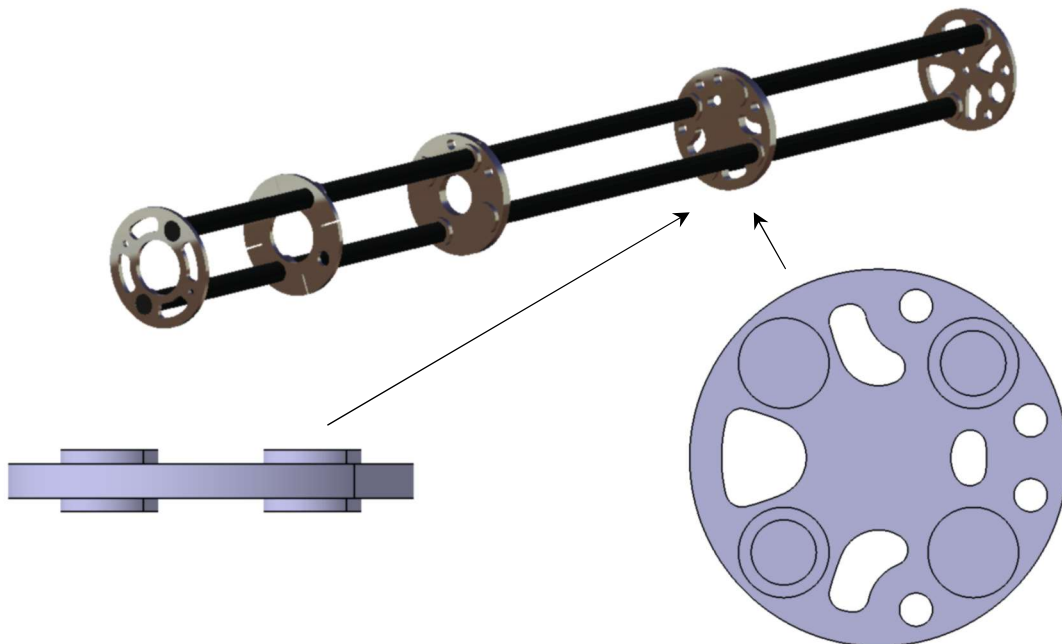


Figure 4: Structure interne

externe de 20mm, et une épaisseur de 2mm. Les tubes sont encastrés dans les bagues en aluminium, et collés à l'époxy.

Peau externe

La peau est constituée d'un tube d'acier de 120mm de diamètre extérieur et de 0.8mm d'épaisseur. La masse est similaire à un tube d'aluminium de 2mm d'épaisseur. L'avantage du tube d'acier est de pouvoir utiliser des tuyaux de poêle à bois, ou des tuyaux d'aération. Pour un diamètre 120, un tube en acier en tôle roulée coûte environ 40 euros pour deux mètres, là ou un tube en aluminium acheté en ligne coûte 250 euros.

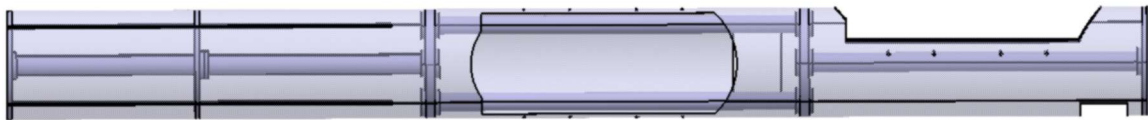


Figure 5: Peau, plus la structure à l'intérieur

Il y a cependant un gros désavantage à utiliser ce genre de tuyau, mais j'y reviendrais dans la section Fabrication.

Reprise de poussée, Centrage et retenue moteur

Le reprise de poussée était une reprise de poussée par le haut, le moteur venant en appui sur sa partie supérieure. Le contact est assuré avec une bague en aluminium de la structure interne (1 cm d'épaisseur). Le centrage est assuré par deux autres bagues de la structure interne.

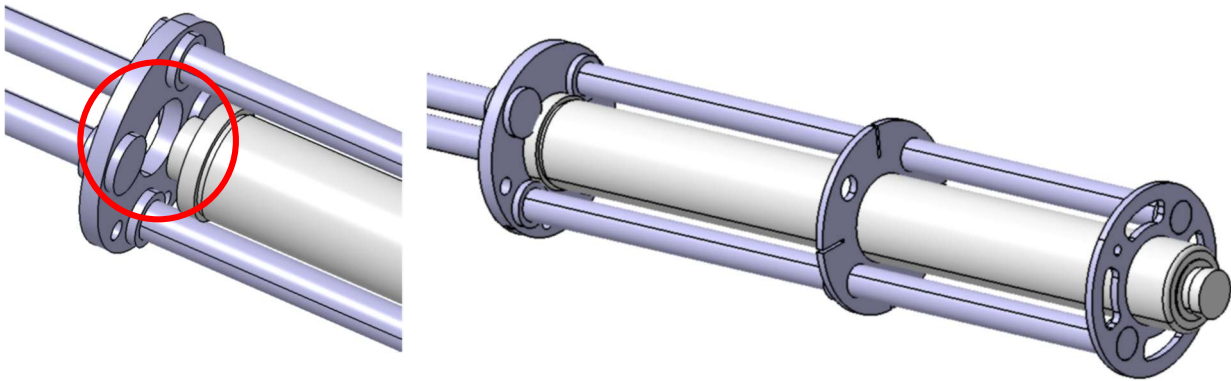


Figure 6: Centrage du moteur, et reprise de poussée

La retenue du moteur est effectuée par une patte vissée dans la dernière bague.

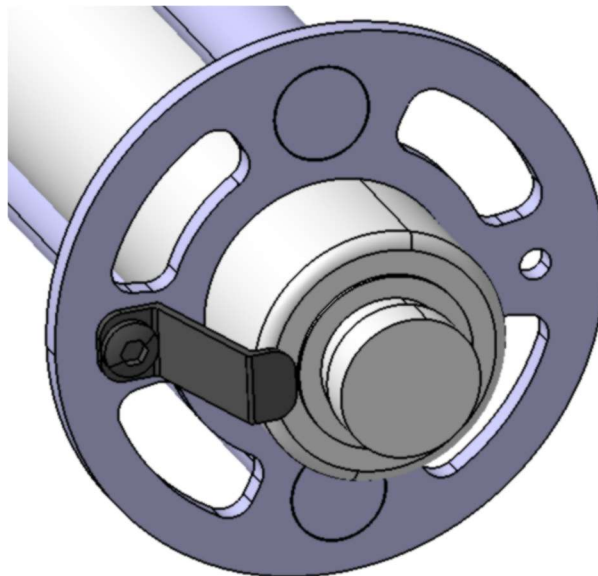


Figure 7: Retenue moteur

Ailerons

Les ailerons sont découpés dans des tôles d'aluminium de 2mm, encastrés dans des bagues internes, et rigidifiés avec des équerres vissées dans la peau. A noter que cette conception était extrêmement robuste (probablement trop). La peau était fendue pour laisser passer les ailerons. Les bagues rouges sont en PETG, les noires en PLA, et les équerres en acier.

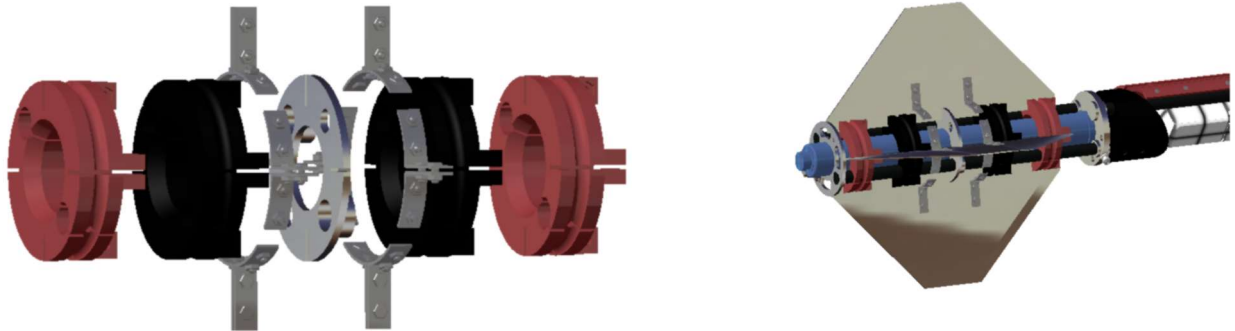


Figure 8: Structures de support des ailerons, bagues en impression 3D dans la peau, et équerres externes

Coiffe

Nous souhaitions maximiser nos chances de retrouver certains composants intacts en cas de vols balistique. Nous avons donc surdimensionner la coiffe (1/4 de la longueur totale de la fusée) afin que celle-ci absorbe une part importante du choc. La coiffe était réalisée en impression 3D, en PETG. La coiffe était vissée dans l'armature interne en aluminium.



Figure 9: Coiffe, et vis de fixation

Après coup, cette conception a été très efficace, mais représente un gros gâchis de place.

Porte et système de verrouillage

Les portes, du parachute et de l'expérience, étaient fixées sur la peau de la fusée, ce qui était une erreur. Le tube employé pour la peau n'étant pas cylindrique, obtenir un ajustement au mm étaient impossible, puisque la courbure du tube changeait à chaque démontage de la fusée...



Figure 10 : Supports de porte en rouge, boulonnés à la peau

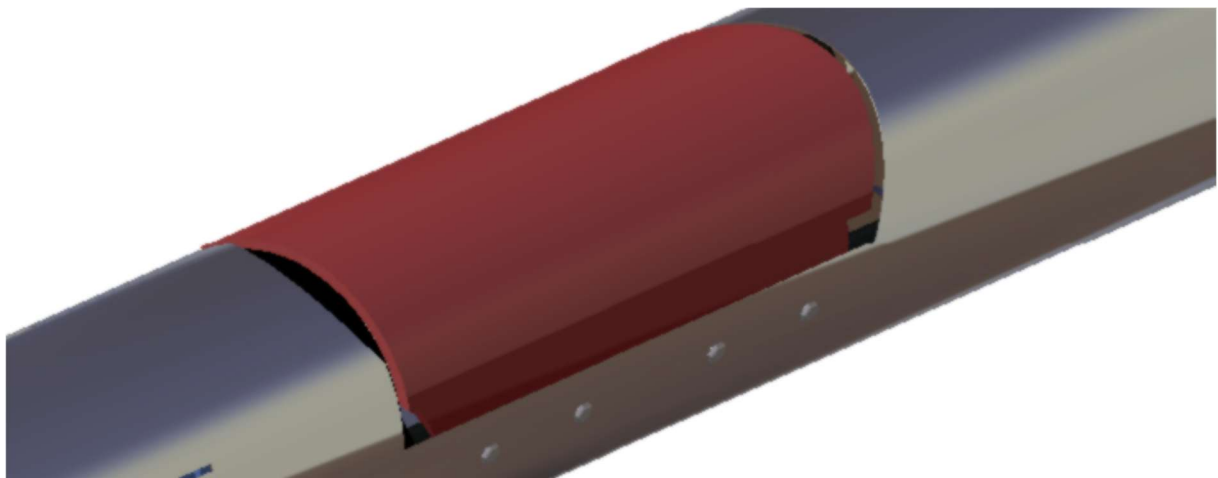


Figure 11 : La porte en position. Les creux dans les supports de portes vus en figure 9 servent à mettre en position la porte

On voit bien les espaces entre la porte et la peau. Ce jeu devait être colmaté à chaque montage de la fusée. Au final nous avons été obligés d'appliquer une frange déflectrice en papier pour le décollage. Les portes étaient le point noir de cette fusée. A refaire, nous fixerions les supports de portes à la structure interne, puis nous fixerions la peau aux supports de portes, ce qui aurait permis de rigidifier le tube en acier.

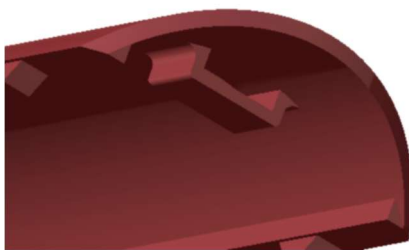


Figure 12 : Anneaux de verrouillage, un petit bras, attaché à un servomoteur, vient pivoter dans l'anneau pour verrouiller la porte



Figure 13 : A l'autre bout de la porte, un ergot vient s'insérer dans le corps de la fusée, ce qui garantit la mise en position de la fusée

La porte, était mise en position par 4 pions inférieurs, et par un cinquième pion sur le bord inférieur de la porte, ce qui n'autorisait plus qu'une rotation correspondant à l'ouverture de la porte. Un servomoteur permettait de verrouiller le dernier degré de liberté.

Le même système était employé pour le parachute, et le largage de l'expérience expérience.

Electronique

Explication générale :

Bien sûr, voici une explication plus concise et pragmatique du système de libération de la porte dans le contexte du séquenceur de fusée :

Composants :

1. Servomoteur : Un servomoteur est utilisé pour actionner mécaniquement la porte. Il peut être contrôlé pour ouvrir ou fermer la porte.
2. Capteur de Décollage : Le jack détecte le moment où la fusée décolle du sol. Cela permet au système de savoir quand le vol commence.
3. LEDs : Des LEDs sont utilisées pour indiquer l'état de la fusée. Chaque LED représente un état spécifique : prêt à lancer, en vol, porte libérée.

Fonctionnement :

1. *Prêt à Lancer* : Avant le décollage, la LED 1 s'allume pour signaler que la fusée est prête. Le servomoteur maintient la porte fermée.
 2. *Décollage* : Le capteur détecte le décollage. La LED 2 s'allume pour indiquer que la fusée est en vol. Le servomoteur reste inchangé.
 3. *Libération de la Porte* : Après que la fusée a atteint une altitude sûre, le servomoteur est activé pour libérer la porte. La LED 3 s'allume pour indiquer que la porte est libérée.
- En résumé, le système de libération de la porte utilise un servomoteur pour ouvrir la porte de la charge utile de la fusée. Le capteur de décollage et les LEDs indiquent les différents états du vol. Le système garantit que la porte est libérée au bon moment pour accomplir la mission de manière précise et automatisée.
- explication du code

Code

Ce code Arduino sert de séquenceur pour le lancement d'une fusée modèle. Il contrôle les différentes étapes du lancement, y compris la libération de la porte de la fusée après le décollage. Voici comment chaque partie du code contribue au fonctionnement du



séquenceur :

1. Déclarations et Initialisations :

- `sensorPin` : Il est configuré comme une entrée numérique avec résistance de pull-up interne. Cela signifie qu'il attend un signal HIGH lorsque le jack de décollage est arraché.
- `ledPin1`, `ledPin2`, `ledPin3` : Ce sont les broches de sortie pour les LEDs indiquant différentes étapes du lancement.
- `servoPin` : Le servomoteur est connecté à cette broche.
- `age`, `temps`, `timer`, `count` : Variables pour gérer le temps et le compte à rebours.

2. Fonction `setup()` :

- Configure les broches d'entrée/sortie, initialise le servomoteur, et allume la LED 1 pour indiquer que la fusée est prête.

3. Boucle `loop()` :

- Le capteur de décollage est lu avec `digitalRead(sensorPin)` pour déterminer si la fusée a décollé.
- Si la fusée est en vol (capteur HIGH) :
 - Si le compte à rebours (`count`) est positif, le servomoteur reste à 90 degrés, indiquant que la porte n'est pas encore libérée. Pendant ce temps, la LED 2 s'allume pour indiquer que la fusée a décollé et est en vol.
 - Si le compte à rebours devient négatif, cela signifie que le temps de délai est écoulé et le servomoteur est actionné pour libérer la porte. Les LEDs 2 et 3 s'allument pour indiquer que la porte est libérée et que l'action a été réalisée.
- Si la fusée n'a pas encore décollé (capteur LOW) :
 - Le temps est enregistré avec `millis()` et le compte à rebours est réinitialisé pour le prochain décollage.
 - Le servomoteur est réinitialisé à 90 degrés, indiquant que la porte est fermée.
 - La LED 1 s'allume pour indiquer que la fusée est prête à décoller.
 - Un délai de 100 millisecondes est inclus pour éviter une boucle très rapide.

En résumé, le code lit l'état du capteur de décollage et contrôle le servomoteur pour libérer la porte de la fusée après un certain temps de vol. Les LEDs sont utilisées pour indiquer l'état actuel de la fusée (prête, en vol, porte libérée).



le code Arduino du séquenceur :

```
#include <Servo.h>

int sensorPin = 2;
int ledPin1 = 5;
int ledPin2 = 7;
int ledPin3 = 3;
int servoPin = 9; // Pin reliée au servomoteur
int age=0;
int temps = 0; // Durée du timer en millisecondes
int timer = 13000;
int count=timer;
Servo myServo; // Création de l'objet servomoteur

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(sensorPin,INPUT_PULLUP);
  pinMode(ledPin1, OUTPUT);
  pinMode(ledPin2, OUTPUT);
  pinMode(ledPin3, OUTPUT);
  myServo.attach(servoPin); // Attacher le servomoteur au pin
  myServo.write(90); // Initialiser le servomoteur à 0 degré (position de départ)
  digitalWrite(ledPin1, HIGH);
  digitalWrite(ledPin2, LOW);
  digitalWrite(ledPin3, LOW);
  delay(10);
}

void loop() {
  age=millis();
  count=temps+timer-age;
  int sensorValue = digitalRead(sensorPin);
  Serial.println(digitalRead(sensorPin));
  if (sensorValue == HIGH){
    if (count>0){
      myServo.write(90);
      Serial.println("timer en cours");
      Serial.println(temps+timer-age);
      digitalWrite(ledPin1, LOW);
      digitalWrite(ledPin2, HIGH);
      //digitalWrite(ledPin3, LOW);
    }
    if (count<0){
      myServo.write(0);
      Serial.println("action réalisée");
      Serial.println(temps+timer-age);
      digitalWrite(ledPin1, LOW);
    }
  }
}
```



```

digitalWrite(ledPin2, HIGH);
digitalWrite(ledPin3, HIGH);
}
}
if (sensorValue == LOW) {
  temps=millis();
  count=timer;
  myServo.write(90);
  Serial.println("attente");
  digitalWrite(ledPin1, HIGH);
  digitalWrite(ledPin2, LOW);
  //digitalWrite(ledPin3, LOW);
  // Le code restera en boucle ici avec les LEDs éteintes
}
delay(100);
}

```

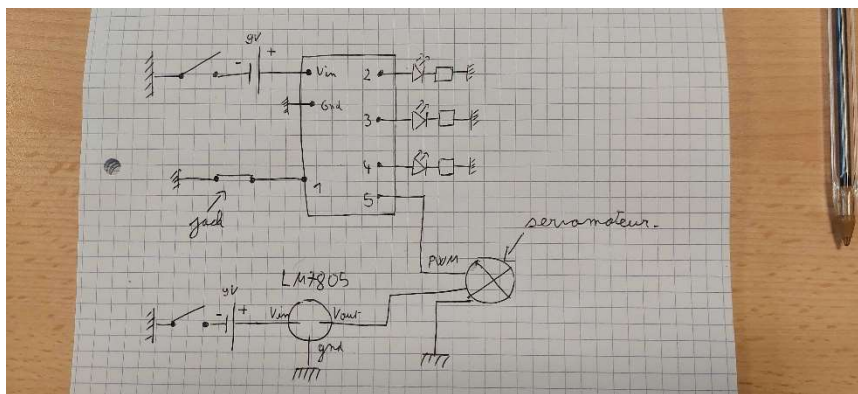


Figure 14 : Schéma électronique du séquenceur

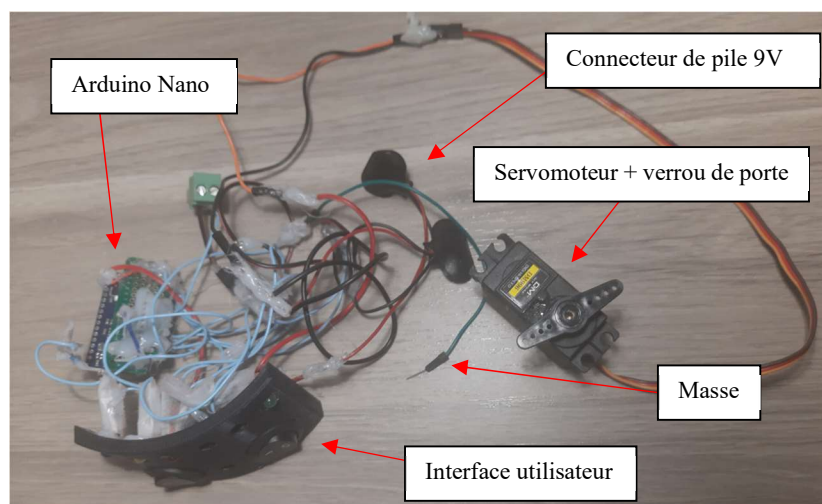


Figure 15 : électronique du séquenceur

Parachute

Pour le parachute, nous avons utilisé un parachute de parapente périmé, et nous l'avons découpé puis et recousu pour répondre à notre besoin. Cette solution était très économique et performante, malgré quelques coutures refaites en urgence lors du C'Space.

Module embarqué

L'expérience embarquée était le largage d'un module. Ce module permettait d'enregistrer certains paramètres de vol (pression, température). Nous avons étalonné chacun le capteur au sol, à différentes altitudes connues.

Le module était extrêmement simple mécaniquement (basiquement une boîte), mais disposait de son propre parachute,

Le module était un BMP 180 qui est un capteur pression/température. On peut en déduire l'altitude en fonction du temps. La tolérance de l'altimètre obtenu était de ± 50 cm. A partir de l'altimètre on peut en déduire la vitesse dans les phases de décollage et d'atterrissage. En effet, par intégration de la position par rapport au temps, on peut obtenir la vitesse, en partant du principe que l'angle au décollage était celui de la rampe (80°), et que l'atterrissage avait une trajectoire purement verticale. Ce calcul n'est valable qu'en négligeant les effets du vent, et en considérant une trajectoire rectiligne lors du décollage. On peut dès lors en déduire l'accélération durant ces phases.

Cependant notre expérience comportait une faille majeure : l'absence de système de localisation. Ainsi, bien qu'une photo du lancement prouve que le module a bien été éjecté hors de la fusée, nous n'avons pas été en mesure de le récupérer. Par conséquent nous avons perdu l'intégralité des données de vols. Une solution aurait été d'embarquer une puce GPS à l'intérieur du module, ou bien de stocker les données récupérées durant la phase ascendante directement dans la fusée. De plus nous n'avions pas pensé à faire de photos du module.



Points importants de fabrication (Succès et erreurs)

<u>Les Plus</u>	<u>Les Moins</u>
Utilisation d'un Tube en acier pour la peau	Mauvaise intégration du tube
Utilisation de l'impression 3D pour la coiffe	Gestion du temps compliquée
Pions de guidage sur rampe usinés sur une barre de Nylon	Découverte de certains problèmes en temps réels
Conception générale très simple	Absence de systèmes de localisation
Structure interne	Ailerons non adaptés
Beaucoup de connaissances accumulées	Câblage électronique non organisé et fragile

Bonnes idées

L'utilisation d'un tube en acier ainsi que de l'impression 3D ont permis de réduire les coûts au minimum. La structure interne compensait largement la faiblesse mécanique induite. Elle était même surdimensionnée, ce qui était au final un défaut car cela représentait une masse importante superflue. Le fait de garder une organisation générale très simple a permis d'être réactif durant le C'Space. Enfin l'utilisation de pions de guidage sur rampe en nylon usinés au tour plutôt qu'en impression 3D a permis de garantir une très bonne solidité du mécanisme. (A noter que se servir d'une perceuse comme tour convient parfaitement à cette utilisation)

Nous avons fait beaucoup d'erreurs de fabrication et de conception, ce qui nous a permis d'apprendre beaucoup de chose en très peu de temps.

Mauvaises idées

Cependant le timing serré de fabrication ainsi que la toute petite « équipe » (2 personnes, chacune à un bout de la France) a joué contre nous lors de ce projet. Nous avons été obligés de bâcler certaines opérations en parant au plus pressé. Nous en retenons de commencer la fabrication le plus tôt possible, voir en même temps que les phases de conception lorsque l'équipe est réduite.

L'erreur de conception principale a été de considérer le tube servant de peau comme étant cylindrique et droit. Dès lors, tous les éléments se structurant sur la peau étaient déréglés. On parle ici de cm d'écart



par rapport à la CAO. Notamment les portes parachutes ainsi que les ailerons ont dus être retravaillés entièrement durant le C'Space. L'idée d'utiliser un tuyau de poêle comme peau était bonne, mais la conception aurait du prendre en compte les tolérances très hautes du tube.

L'erreur majeure de fabrication a été de découper les ailerons trop petits, au C'Space. Ce qui nous a obligé a modifier le centre de masse de la fusée. Cette erreur découle directement du tube non cylindrique. En effet le fait de fendre le tube en acier pour laisser passer les ailerons a eu pour conséquence de réduire leur envergure en augmentant localement le diamètre de la peau.

Enfin, nous n'avions pas mis de système de localisation, rebutés par le prix grand public des puces GPS. C'était une erreur, il existe des alternatives moins chères, qui auraient permis de retrouver notre expérience et de pouvoir analyser les données.

Enfin, comme aperçu dans la rubrique électronique, le câblage électrique laissait clairement à désirer, et il était compliqué à manipuler et à stocker, en plus d'être fragile. La solution serait d'utiliser des PCBs à la place de la majorité du câblage.



Exploitation des résultats, et suite du projet :

Comme dit précédemment, nous ne pouvons pas réellement exploiter de données numériques due à la perte de notre module. Cependant nous pouvons analyser qualitativement notre projet.

Tout d'abord, le vol a eu lieu le vendredi 21 juillet à 10 heures. Le vent était négligeable, et le plafond nuageux environ à 1000 mètres. La fusée a effleuré ce plafond, et a donc atteint une altitude proche.

Le Stabtraj indiquait une apogée théorique à 950 mètres. Cependant nous avons pu constater que le parachute s'est déployé environ 1.5 secondes plus tard. On en déduit une altitude théorique d'environ 900 mètres. L'analyse vidéo a été possible grâce à la faible altitude, la fusée n'ayant pas dépassé le plafond nuageux.

L'altitude inférieure au Stabtraj pourrait s'expliquer par les différentes franges de papier, et irrégularités de la surface, engendrant des frottements importants

Le choc à l'ouverture du parachute a été particulièrement violent (claquement sonore prononcé !) mais il a conservé son intégrité, preuve de sa fabrication solide.

La fusée a atterri la coiffe la première. La coiffe a explosé, mais le reste de la fusée était intacte. Le séquenceur et l'ouverture des portes était parfaitement fonctionnelle.



Le module a bien été éjecté, l'expérience est donc un (demi) succès.



Figure 16: Images du lancement. A gauche, on voit bien le module éjecté. Au centre, le décollage. A droite, les débris de la coiffe.

Conclusion

La fusée pesait environ 12.3kg avec moteur, pour 1.80 mètre. Ce ratio n'est vraiment pas exceptionnel est peut-être largement amélioré. De plus la fusée a souffert d'une conception et d'une fabrication bancal, ainsi que d'une organisation du projet à revoir. Néanmoins l'expérience est un succès, puisque le but était de la conception mécanique pure : larguer un module.

Cependant, pour une première participation au C'Space nous sommes très content du résultat. Nous avons réussi à construire une fusée fonctionnelle ayant effectué un vol nominal, pour environ 400 euros, sans connaissances préalables dans ce domaine. Nous avons appris énormément de choses qui nous resserviront, dans ce domaine ou un autre. Pour cela nous sommes très reconnaissants au CNES et à Planète Sciences pour nous avoir donné l'opportunité de faire ce projet, pour nous avoir aidé et accompagné de bout en bout. Merci également aux autres équipes qui nous ont beaucoup aidé lors du C'Space.

Ce projet 2023 a été l'occasion de voir que ce genre de challenge nous plaisait vraiment, et nous comptons bien nous réinscrire pour un projet plus abouti.

Nous travaillons sur ce nouveau projet depuis maintenant plusieurs mois, et nous avons réussi à récolter suffisamment de matériaux haut de gamme (carbone, nylon, fibre de verre, télémétrie, puces GPS, PCBs etc...) pour le mener à bien. L'expérience acquise avec cette fusée en 2023 nous a permis d'éviter certains pièges de conception pour ce nouveau projet. Le but de ce nouveau projet est le largage d'un drone depuis une fusée expérimentale.

