



PETER.C ; ALEXANDRE.BR ; DENEZ.FK ;
JACQUES.S ; EVAN.T ; TOM.R
CLUBS ACELSPACE ET AIR ESIEA

DATES DU PROJET : 2022-2024

Xéon - Rapport de projet

Auteurs :

Peter C
Alexandre B-R
Denez F-K
Jacques S
Evan T
Tom R

Campagne de lancement :
C'Space 2024

12 septembre 2024

Sommaire

I	Contexte de la réalisation	3
1	Un partenariat interclub	4
2	Intégration dans le programme Cirrus	4
3	Suite d'Irydium	4
II	La fusée	5
4	Conception	6
4.1	Conception générale	6
4.2	Système de récupération	6
4.3	Système de pilotage	6
4.4	Rac électronique	6
4.5	Train d'ailerons	7
5	Réalisation	7
5.1	Mécanique	7
5.2	Electronique	14
5.3	Algorithme	16
III	Dossier de Sécurité	19
5.4	Généralités	20
5.5	Systèmes critiques	20
5.6	Phase 1 - Vol	21
5.7	Niveaux Critiques	22
5.8	Croisement de cas critiques	23
5.9	Phase 2 - Pilotage	24
IV	Retours sur le projet	28
6	La difficile gestion de l'équipe	29

7	Le vol	29
8	Ouverture sur les projets futurs	31

Première partie

Contexte de la réalisation

1 Un partenariat interclub

Lors de la campagne du C'Space 2022, les clubs AcelSpace et Air ESIEA ont pu se rencontrer, sympathiser et ont finalement décidé de collaborer sur différents projets.

Le premier de ces projets fut la fusée sonde Cirrus d'Air ESIEA, cette dernière fut lancée lors de la campagne de EuRoC 2023.

Fort de cette expérience, nous avons décidé de recommencer à collaborer et cette fois sur une fusée pour le club AcelSpace : Xéon

2 Intégration dans le programme Cirrus

Pour l'association Air ESIEA, Xéon est un vecteur de test pour la gestion de parafoil que l'association veut intégrer dans ses futures fusées-sonde. La fusée devait aussi permettre, de tester un nouveau système mécanique de dual-vent.

Les membres de l'association ont réellement rejoint le projet en octobre 2023, le projet ayant commencé en septembre 2022.

L'idée pour l'Association étant de continuer la formation et la prise en expérience de ses membres.

3 Suite d'Irydium

Pour le club AcelSpace, Xéon est la suite de la fusée Irydium lancée en 2022, qui était une minif à gestion de parafoil. Ici, l'objectif était d'aller plus loin sur une Fusée avec par conséquent plus de contrainte, mais aussi plus d'espace et de possibilité.

Deuxième partie

La fusée

4 Conception

4.1 Conception générale

Tout au long de l'année 2023-2024, nous avons essayé de suivre les points suivants sur la “philosophie” de construction.

Le premier point a été pour nous d'essayer de rester le plus simple et fonctionnel possible (principe KISS). Cela a pour avantage de ne pas gaspiller de temps en conservant des mécanismes simples, et de faciliter la réparation et la mise en œuvre des systèmes lors du C'Space (voir retours C'Space). Nous avons donc réutilisé des conceptions que nous savions fonctionnelles et fiables (voir ogive).

Le second point suivi a été un prototypage important. La nette amélioration des imprimantes 3D grand public permet aujourd'hui de maximiser le nombre de pièces testées faites en PLA/ABS. Nous avons donc imprimé de nombreuses fois toutes les pièces en impression 3D pour pouvoir voir facilement leurs défauts et les corriger rapidement.

Ce point s'accompagne de l'utilisation importante de l'impression 3D dans toutes les pièces qui y sont propices.

4.2 Système de récupération

Nous avons opté pour l'utilisation d'un système de récupération à deux temps pour des raisons de R&D et de sécurité. Si le parapente était déployé à l'altitude maximale de la fusée et que, pour tel ou tel raison, le système de pilotage ne fonctionnait pas, il y aurait eu un risque de sortie du gabarit de vol, ce qui aurait pu mettre en danger la zone publique ou même l'autoroute. Le dual event nous permet donc de déployer le parapente à une altitude cible et de ne pas le déployer en cas de sortie de notre zone de sécurité au sein du gabarit de vol.

4.3 Système de pilotage

L'objectif de la fusée étant de redescendre de manière contrôlée sous parapente, il a fallu réfléchir à la manière de doter la fusée de la capacité de contrôler le parapente mécaniquement. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser deux servomoteurs, un pour chaque ensemble de freins, permettant ainsi de tirer dans un sens ou dans l'autre. Les suspentes du parapentent sont fixées à des pitons métalliques de part et d'autre du tube.

Il suffit d'activer un servo pour tirer une drisse de freins et ainsi tourner dans une direction, de relâcher les deux pour ralentir la descente, ou de tirer sur les deux pour forcer la descente.

Plusieurs modes de sécurité sont également implémentés, notamment différents niveaux de vrille en fonction du niveau de sécurité atteint (voir Sécurité). Un moteur de sécurité est aussi intégré au cas où l'un des servomoteurs ne serait plus fonctionnel.

4.4 Rac électronique

L'idée derrière le bloc électronique était d'avoir une zone où toutes les cartes sont centralisées, accessibles par une grande trappe qui sert aussi de tableau de bord. Nous voulions pouvoir accéder facilement aux cartes et aux pile située sous l'assemblage des cartes pour pouvoir changer pile et circuit en cas de problème ou de maintenance. Cette idée est tirée de l'expérience des années passées, marquées par la complexité de cette tâche.

4.5 Train d'ailerons

Le train d'ailerons est d'une conception simple : trois bagues servent au centrage du propulseur ainsi qu'à la fixation des ailerons. Le retrain, principalement aérodynamique, sert aussi à la rétention du propulseur et à un gain de place dans le bas du tube. Il s'imbrique par friction dans les ailerons et est vissé au tube pour le maintien lors du vol.

5 Réalisation

5.1 Mécanique

Ogive L'ogive est la section la plus sensible du point de vue aérodynamique. En effet, elle possède une ouverture transversale qui lui permet de se séparer en deux et d'éjecter le parachute.

Pour maintenir les deux coques fermées, on emploie une spirale qui les verrouille entre elles. Celle-ci est en aluminium et se "visse" autour d'une tige en laiton présente sur la coque extérieure.

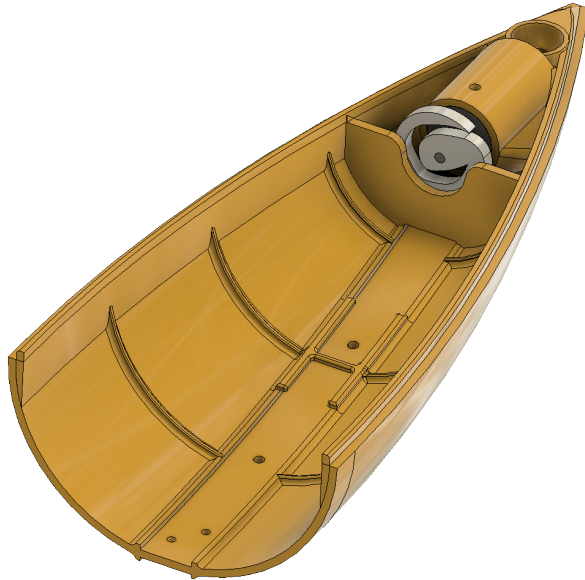


FIGURE 1.1 – Coupe de la coiffe et de sa spirale d'ouverture

Ce système très fiable assure une grande solidité du maintien des coques, renforcée par l'ajout d'un rebord sur la première coque (visible ci-dessus) pour éviter tout cisaillement.

Tous ces éléments garantissent que l'ogive ne s'ouvre pas lors de la phase d'ascension. L'ouverture s'effectue à l'apogée par le "dévissage" de la spirale et la libération des coques. L'éjection est assurée par deux ou trois ressorts ajustables (voir "retex ogive/ressort").

La solidité de toute la section repose sur la construction des coques en deux matériaux : l'ogive elle-même, qui est en impression 3D, est fixée sur une structure interne en aluminium. C'est sur cette structure que se vissent les charnières des coques, ainsi que la tige du système de verrouillage.

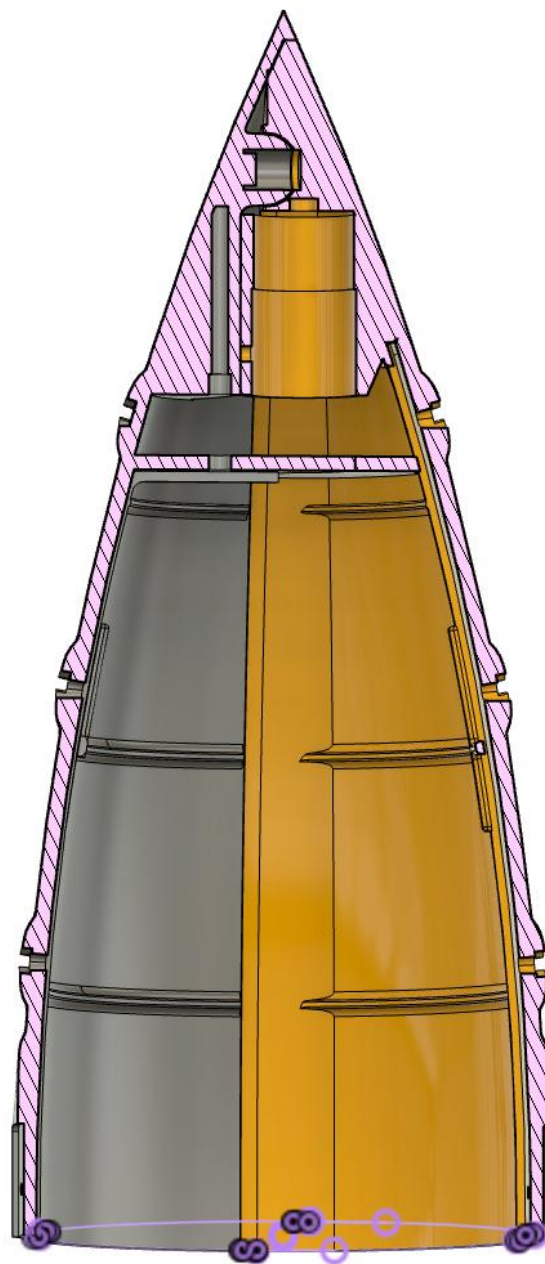


FIGURE 1.2 – Coupe de la coiffe et de son système d'ouverture

Parachute

Le premier parachute pose de nombreux défis dans sa conception (notamment au sujet du calcul de sa surface) et sa fabrication, il doit en effet pouvoir assurer la redescende de Xeon dans des conditions sécurisées pour le public autant que pour la fusée, et assurer le bon déploiement du parapente dans le cas échéant. De plus une fois le parapente déployé il ne doit pas gêner son bon fonctionnement. Le parachute est donc lâché de la fusée.

La ligne du parachute est donc complexe car elle doit répondre au cahier des charges suivant :

- Être le ralentisseur de la fusée à partir de l'apogée jusqu'à l'ouverture du parapente, en conservant une vitesse inférieure à $15m.s^{-1}$
- Servir de déployeur pour le parapente
- Une fois largée ne pas redescendre sous les $5m.s^{-1}$

Pour y répondre nous avons donc conçu la ligne parachute composée comme suit.

Premièrement le parachute est hémisphérique pour minimiser le déport latéral dû au vent. Nous avons donc conçu une feuille Excel qui, en utilisant de la trigonométrie et la formule de la vitesse de descente de planète science ($v^2 = 2mg / \rho \cdot cs$), permet de calculer le diamètre du parachute ainsi que la forme des gores (pièce en tissu composant le parachute) en fonction de leurs nombres. Ceci dans le but de coudre nous-même le parachute.

[Lien cliquable vers le Google Sheets de calcul de parachute](#)

Il se compose de 6 gores cousues entre elles par une double couture, pour un diamètre projeté de 90cm et une vitesse de descente de 15,7m/s (vitesse hors cahier des charges, dérogation de Planète Sciences). Le parachute est attaché à un émerillon de manière assez classique.

Le second élément de la ligne est le "dissipateur d'énergie". Cette section est en réalité une corde élastique qui, en se déformant, dissipe le choc et ménage la goupille. En dessous de cette section se trouve une masse de 800 g (composée de poids de pêche), prévue pour le cas où le parapente est activé, entraînant le largage du parachute et sa descente à une vitesse appropriée.

La ligne d'attache du parachute part de la masse et s'attache sur la goupille tout comme la chaussette du parapente. Lors du déclenchement du système, le premier parachute est alors déployé, avec l'extrémité de sa ligne attachée à la goupille comme mentionné précédemment. Après un certain temps X (15 secondes dans notre cas), le moteur qui retient la goupille s'active, libérant ainsi le parachute principal ainsi que la chaussette contenant le parapente, celui-ci étant retenue par deux pitons montés au niveau du haut du tube se déploie.

Sur la page suivante vous trouverez le schéma de la ligne parachute.

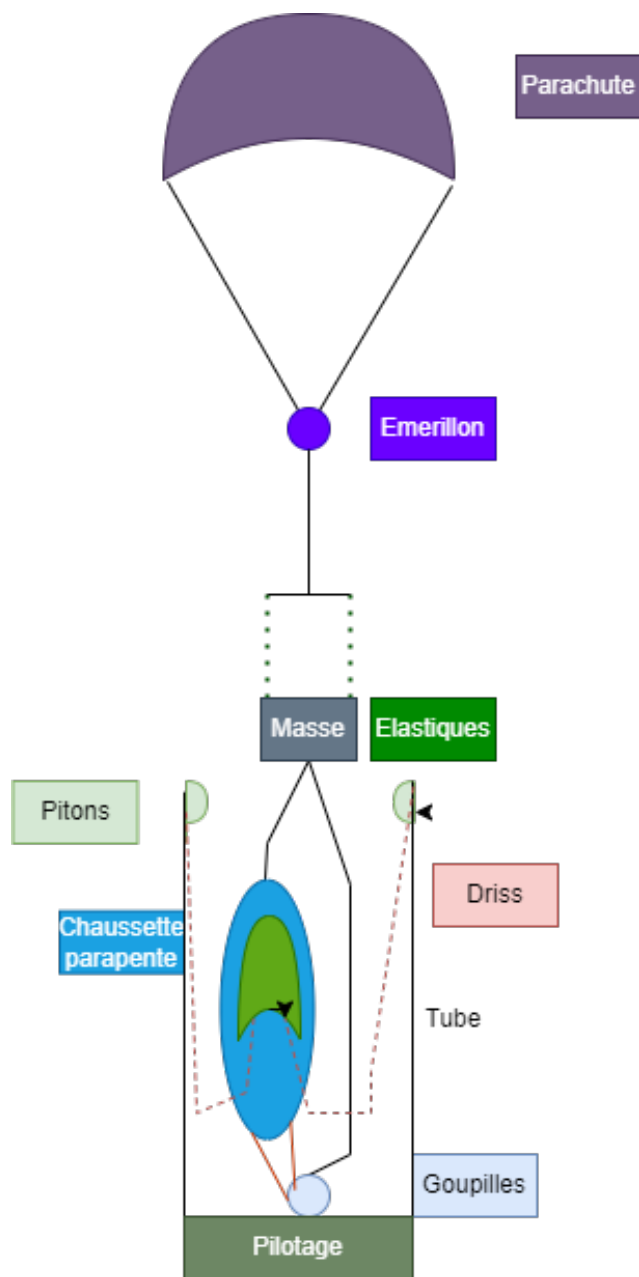


FIGURE 1.3 – Shéma de la ligne parachute

Bague dual/servo

Une pièce maîtresse de la mécanique de Xeon est ce système Dual/Servos, qui s'articule autour d'une bague porteuse en POM.

Au dessus de cette bague centrale (en gris sur la 3D ci-dessous), on retrouve le système Dual-Event avec : son moteur, fixé à la bague en POM via des arceaux en métal, son clicker (tout deux visibles sur la 3D) et sa goupille, cachée par cette bague en impression 3D qui compartimente le parapente et empêche l'emmêlement de ses drisses avec la mécanique du Dual-Event.

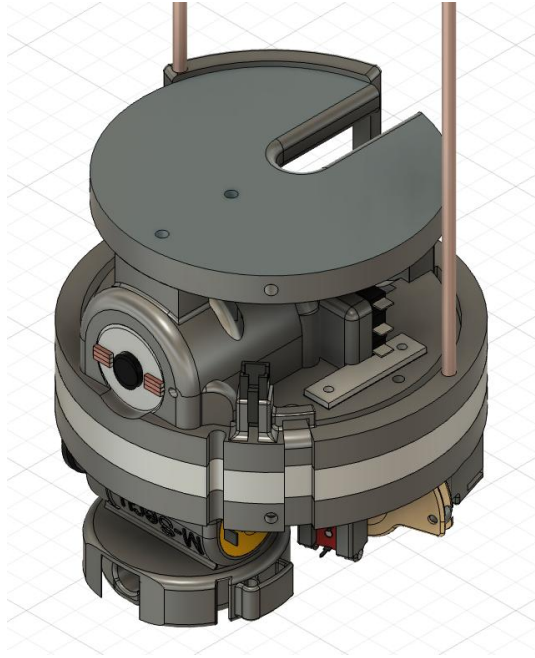


FIGURE 1.4 – Image 3D Dual Event

La goupille s'organise autour de deux éléments centraux :

- La cloche en nylon, qui est actionnée par le moteur, tourne et libère le parachute. Celle-ci a été tournée à partir d'un bloc de nylon plein et est de grande épaisseur pour résister au choc.
- La goupille elle-même, qui consiste en une tige en aluminium plein de 10x10 mm, montée sur un axe supporté par une pièce en U, et boulonné solidement à la bague en POM. Cette tige répartit la force du choc entre la pièce en U et la cloche en nylon.

En dessous de la bague en POM, se trouvent les deux servomoteurs de pilotage qui tirent les freins du parapente (arrivant dans les deux tubes en laiton) au moyen d'enrouleurs en PLA (en beige à droite sur la 3D). Les servos sont maintenus en place par la bague servo (PLA). On peut se permettre ce système car la force appliquée sur les servos est reprise par la bague porteuse et non par le PLA. On retrouve également le moteur de sécurité sur la gauche, en dessous duquel est placé l'enrouleur du câble coaxial du GPS.

Ce condensé de mécanique se situe juste au-dessus du rac-électronique et sert d'interface mécatronique entre la carte Experience et la ligne parapente.

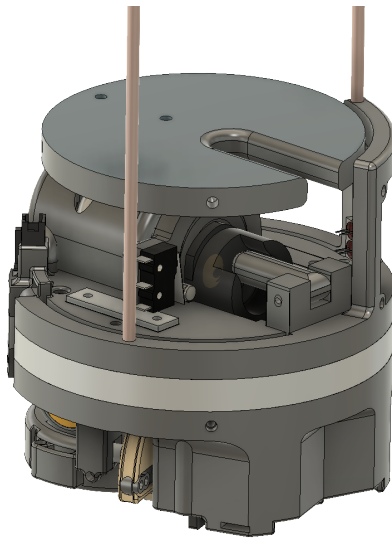


FIGURE 1.5 – Image 3D Dual Event n°2

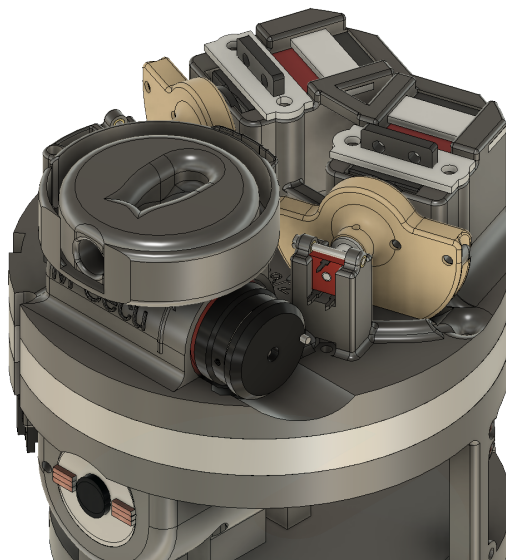


FIGURE 1.6 – Image 3D Servos de pilotage et Moteur de sécurité

Train d'ailerons

Les bagues sont en POM (polyoxyméthylène) car ce matériau est solide, léger et facile à usiner. Il présente aussi un gros avantage par rapport à l'aluminium : il a une légère souplesse qui permet d'absorber les efforts lors du montage complet des ailerons et de compenser les petites erreurs lors de leur fabrication.

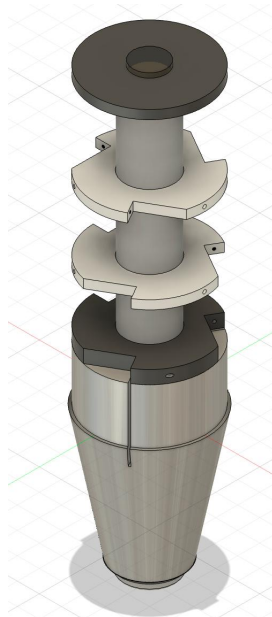


FIGURE 1.7 – Plan 3D Train moteur sans ailerons

Les ailerons sont maintenus par des vis à bois autoforeuses qui sont ici plus efficaces qu'un filetage simple.

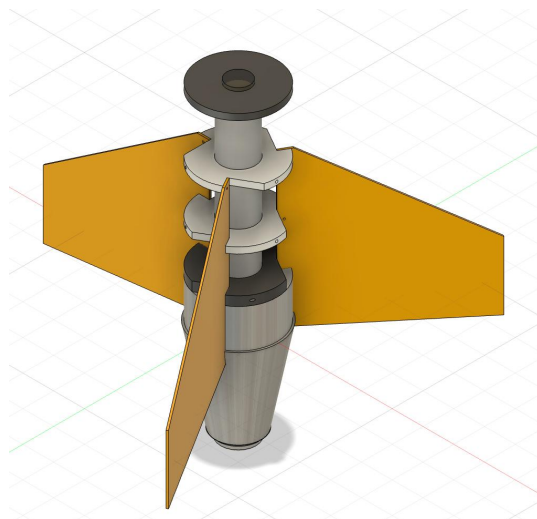
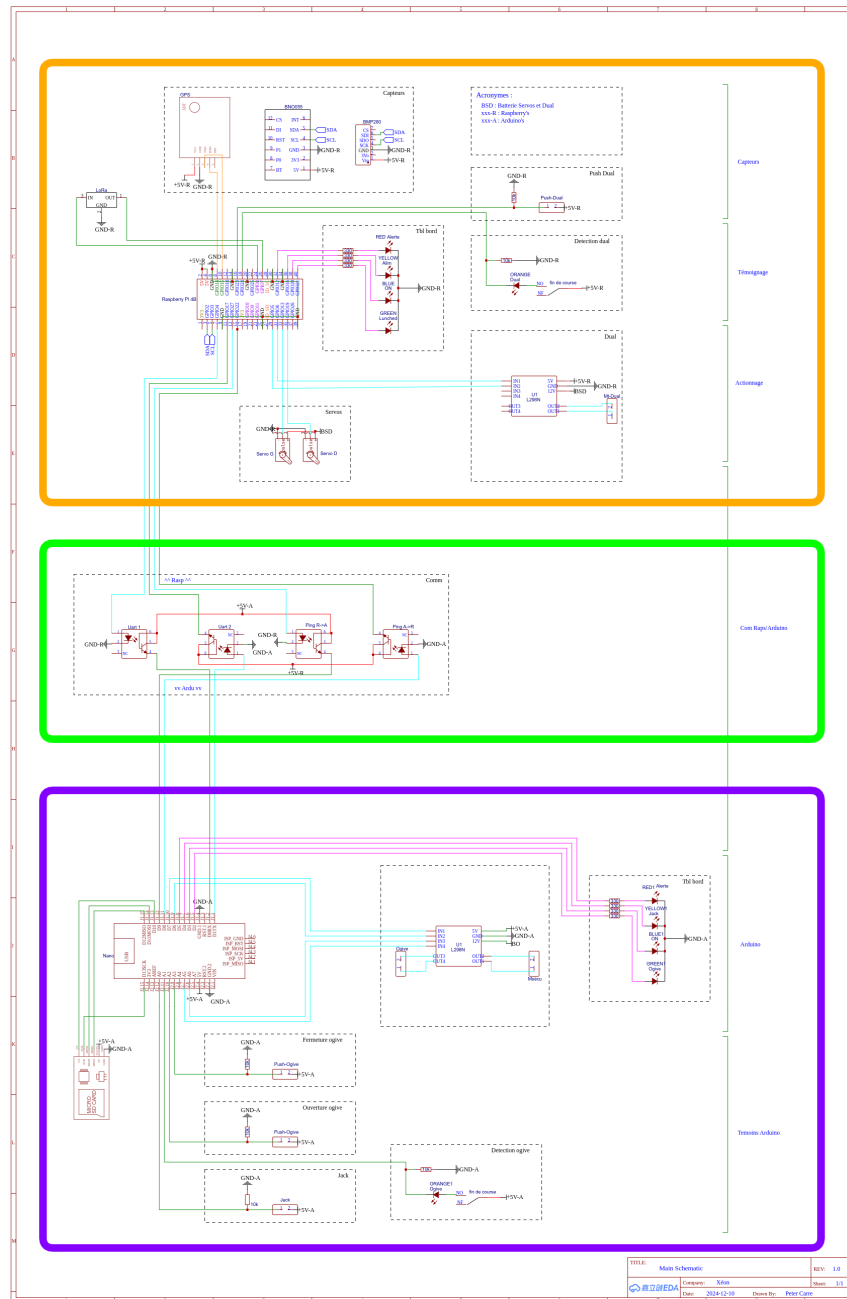


FIGURE 1.8 – Plan 3D Train d'ailerons complet

Ce système de train d'ailerons est simple, efficace et très solide. Il est rapide à mettre en place et à fabriquer, en deux à trois jours de travail. Son seul inconvénient est de devoir tracer des fentes dans la peau de la fusée pour laisser place aux ailerons.

5.2 Electronique

Le **schéma électronique** ci-dessous correspond à l'électronique de Xéon. Il est divisé en 3 secteurs : le **système Expérience**, le **système Séquenceur**, et le **système Communication**. Soyez libres de zoomer dans l'image.



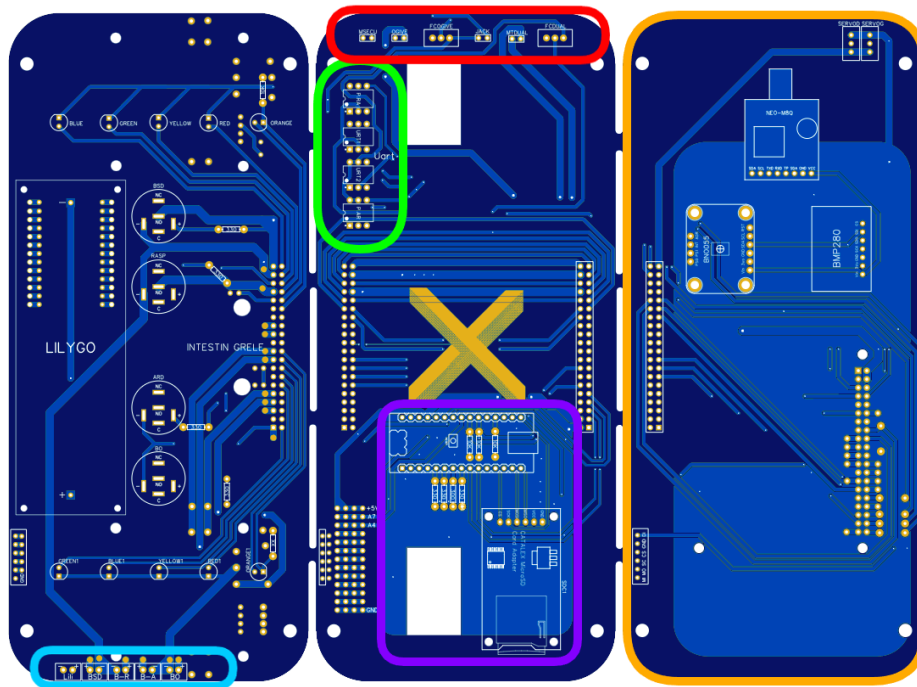
L'électronique de cette fusée est divisée en **3 cartes PCB** 2 couches connectées entre elles par des headers Duponts. Le découpage en 3 circuits ne correspond pas aux 3 systèmes évoqués plus haut, mais ces derniers sont visibles sur les deux derniers circuits. Voici une description verbale plus détaillée des PCBs ci-dessous.

La *première carte*, adossée à la trappe comporte les témoins leds, les différents interrupteurs et commandes, ainsi que les ponts en H qui contrôlent les moteurs (pour des raisons d'optimisation de place).

La *seconde* comporte dans sa moitié inférieure le **séquenceur** avec comme processeur une Arduino nano. Les composants du séquenceur sont proches et entourés d'une zone de cuivre dédiée, comme le seront les composants du système expérience. Sur la moitié supérieure du 2nd circuit, on retrouve les 4 optocoupleurs qui assure la communication entre les systèmes Séquenceur et Expérience.

Sur le *3eme circuit*, sont présents les composants du **système Expérience** avec comme processeur une Raspberry Pi 4.

Les différents **moteurs et actionneurs** sont présents sur les marges supérieures des PCBs, et les **batteries** sur celles inférieures, de manière à éviter toute erreur de branchement. Dans le même objectif, chaque composant devant être relié au circuit l'est au moyen de connecteurs orientés et immatriculé afin d'éviter de mauvais branchements ou inversion de polarités.



5.3 Algorithme

Au niveau du systeme Sequenceur, l'arduino nano est flashée avec le code C de minuterie simple qui suit. (Entre la reception des circuits et l'assemblage global, l'incompatibilité d'usage entre les optocoupleurs et la carte SD a été mise en lumière, c'est pourquoi les parties de code relatives à l'enregistrement sur la carte SD ont été retirées)

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <SD.h>
3
4 #define sdCs 10
5
6 int timer = 7;          // in sec
7 int timeOgive = 4;      // in sec
8 int timeSecu = 4;       // in sec
9 int stateGo = 0;        // or 1 depending on the jack pinout
10 int timeActMs = 1;      // time before activating msecu in case of no ping from
    the rasp
11
12 int jack = A0;
13 int push0 = A2;         // Push open
14 int push1 = A3;         // Push close
15 int coneState = 1;      // Clicker Ogive
16 int pingRasp = 9;       // Ping Rasp
17
18 int mOA = A5;           // mO => Ogive && A => Ouverture
19 int mOB = A4;
20 int mSA = 6;            // mS => Ms cu
21 int mSB = 7;
22
23 int led1 = 2;           // t moin run
24 int led2 = 3;           // t moin jack
25 int led3 = 5;           // t moin error
26 int led4 = 5;           // t moin ogive
27
28 File myFile;
29 int baudRate = 9600;    // tkt
30 int i = 0;
31
32 void setup() {
33
34     Serial.begin(baudRate);
35     Serial.println("");
36     Serial.println("Running...");
37
38     // SD initialization
39     if (!SD.begin(sdCs)) {
40         Serial.println("SD initialization failed");
41         digitalWrite(led3, HIGH);
42     }
43     else {
44         Serial.println("SD initialised");
45         myFile = SD.open("xxx.txt", FILE_WRITE);
46     }
47
48
49
50     // Define mode of IN pins
51     int inCompos[] = {jack, push0, push1, pingRasp};
52     for (int i = 0; i < (sizeof(inCompos) / sizeof(inCompos[0])); i++) {
53         pinMode(inCompos[i], INPUT);
54     }
55     Serial.println("In pins initialised");
56
57
58
```

```

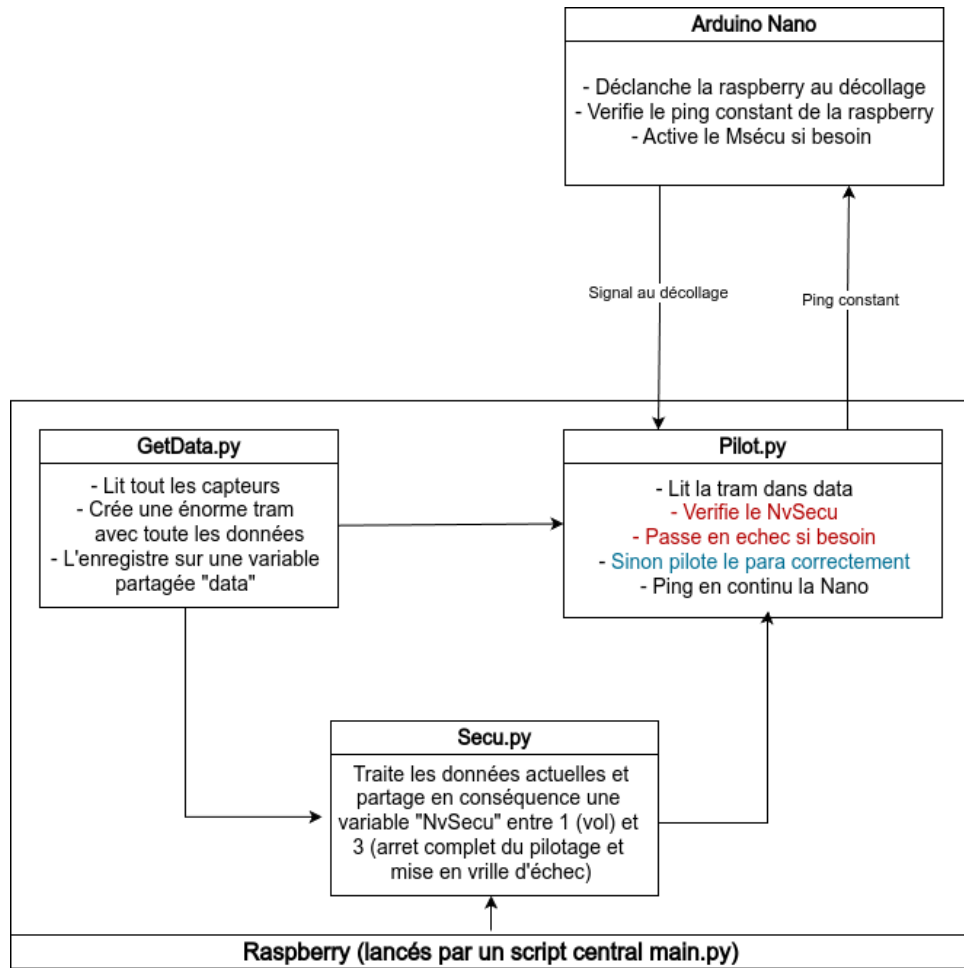
59 // Define mode of OUT pins
60 int outCompos[] = {mOA, mOB, mSA, mSB, led1, led2, led3, led4, LED_BUILTIN};
61 for (int i = 0; i < (sizeof(outCompos) / sizeof(outCompos[0])); i++) {
62     pinMode(outCompos[i], OUTPUT);
63 }
64
65 Serial.println("Out pins initialised");
66 digitalWrite(led1, HIGH);
67
68 }
69
70 void loop() {
71     // Wait for take off
72     if (digitalRead(jack) == stateGo) {
73         // Notify take off
74         digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); //led2
75         Serial.print("Take off");
76
77         // Wait for apogee
78         delay(timer * 1000);
79
80         // Open Ogive
81         digitalWrite(mOB, LOW);
82         digitalWrite(mOA, HIGH);
83         delay(timeOgive * 1000);
84         digitalWrite(mOB, LOW);
85         digitalWrite(mOA, LOW);
86
87         if (coneState) {
88             digitalWrite(led4, LOW);
89         }
90
91         // Stand-by && Raspi checking
92         while (true) {
93             if (digitalRead(pingRasp) == 0) {
94                 delay(1000*timeActMs);
95                 if (digitalRead(pingRasp) == 0) {
96                     // Activate Msecu
97                     digitalWrite(mSB, LOW);
98                     digitalWrite(mSA, HIGH);
99
100                     delay(timeSecu * 1000);
101
102                     digitalWrite(mSA, LOW);
103                 }
104             }
105         }
106     }
107 }
108
109 if (digitalRead(push0) and !digitalRead(push1)) {
110     digitalWrite(mOB, LOW);
111     digitalWrite(mOA, HIGH);
112     delay(100);
113     digitalWrite(mOA, LOW);
114 }
115
116 if (digitalRead(push1) and !digitalRead(push0)) {
117     digitalWrite(mOA, LOW);
118     digitalWrite(mOB, HIGH);
119     delay(100);
120     digitalWrite(mOB, LOW);
121 }
122
123 }

```

Au sujet de la Raspberry qui est le cerveau de l'expérience, le code python est découpé en les 6 scripts suivants ...



...dont le fonctionnement se simplifie à ce schéma, en phase de vol.



Le fonctionnement du script de sécurité est détaillé dans les prochaines pages.

Troisième partie

Dossier de Sécurité

5.4 Généralités

Nous appelons "système critique" un élément de la fusée qui intervient dans la chaîne de déroulement du vol, au sein du système mécatronique de récupération ; soit tout système de la fusée autre que les secteurs propulsion et aérodynamisme.

Ainsi, un "cas critique" sera un scénario de vol définit, où aucun, un, ou plusieurs systèmes critiques pourront rencontrer une erreur, et ainsi avoir une incidence plus ou moins forte sur le déroulement du vol.

Certains systèmes critiques seront dit SQN, pour Sine Qua Non ; en cas d'erreur sur ces dits systèmes, toute erreur de systèmes subordonnés est considérée comme strictement négligeable. Exemple : si l'Ogive ne s'ouvre pas, le pilotage par servomoteurs n'est pas d'une grande utilité. Dès le bon déploiement du parapente, ce modèle n'est plus valide, dans la mesure où les composants mis en jeu cohabitent et sont tous indispensables au bon pilotage du parapente. Les erreurs à leur niveau entraîne l'entrée dans des modes de sécurité différents ; d'où le découpage du vol en 2 phases distinctes.

5.5 Systèmes critiques

Dans les différentes sections, ci-après, nous utiliserons les abréviations suivantes pour les différents systèmes critiques :

- Nano → Arduino Nano, processeur du Séquenceur
- Ogive → Mécanisme d'ouverture de la coiffe et de libération du *drag*
- Drag → Drag-chute hémisphérique, 1er ralentisseur ($15m.s^{-1}$)
- Raspi → Raspberry Pi 4, processeur de l'Expérience
- Dual → Dual-event, système de libération du *para*
- Para → Parapente, ralentisseur principal de la fusée ($5m.s^{-1}$)
- Servo → Servomoteur, deux d'entre eux pilotent le parapente
- GPS → Module de réception des données de géolocalisation GNSS
- Gyro → Gyroscope/Accéléromètre 9 axes
- Alti → Baromètre permettant d'obtenir une altitude relative sur le pas de tir
- Msécu → Moteur de sécurité, met en vrille le *para* en cas de trouble majeur

5.6 Phase 1 - Vol

La "Phase 1" se déroule entre le décollage de la fusée et le déploiement du parapente, dans un scénario nominal ou Cas A, vers lequel nous cherchons à tendre ; ou jusqu'à l'atterrissage en cas de balistique ou de vol *nominal dégradé* (redescente complète sous *drag*).

Cas / Fº de	Nano	Ogive	Drag	Raspi	Dual	Para	
A							
B						×	
C						×	
D						×	
E					×		
F							
G	×						

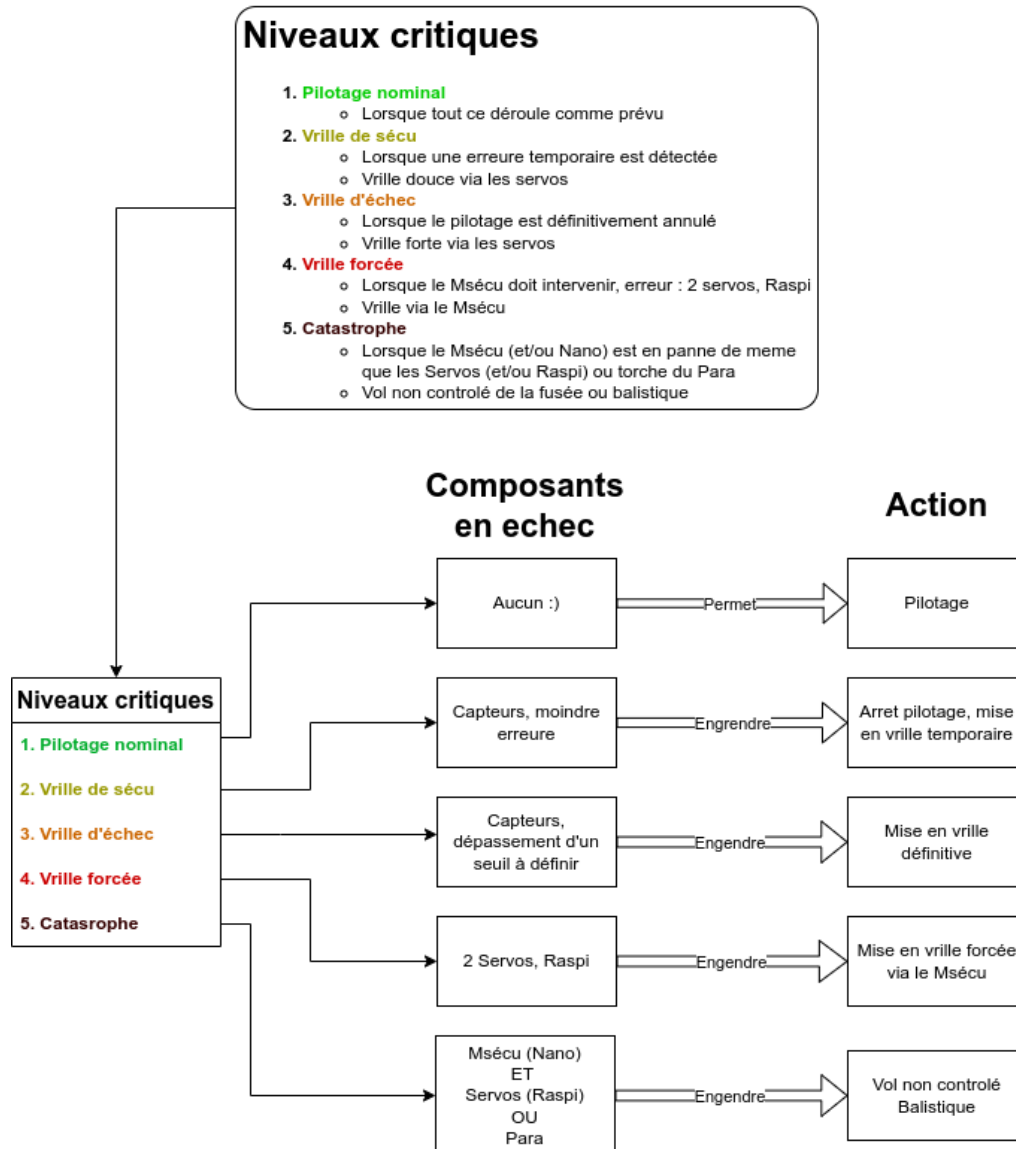
TABLE 1.1 – Composants SQN en phase 1

Un $\times$ correspond ici à une erreur du système en question.

Les lettres associées à chaque cas critique forment la base de leur immatriculation. Elles ne désignent cependant qu'un composant dans son intégralité, et dans certains cas nous verrons qu'un fonctionnement partiel peut tout de même permettre la continuation de la chaîne critique. Nous aurons donc, pour les composants cités précédemment, et toujours lors de la 1ère phase de vol, les codes suivants :

- x.05 → **fonctionnement partiel** permettant le déroulement de la chaîne critique de manière cependant dégradée
- x.1 → **hors service total**

5.7 Niveaux Critiques



5.8 Croisement de cas critiques

Les tableaux ci-dessous ont pour objectif de croiser les différents troubles techniques entres les composants pour avoir une meilleure vision de la criticité de défaillances.

Echelle		
	Aucun trouble technique	NvQtrc 1
	Trouble sans effet	
	Trouble niveau 1	NnQtrc 2-3
	Trouble niveau 2	NvQtrc 4
	Catastrophe	NvQtrc 5

TABLE 1.2 – Légendes du Tableau de croisement de cas critiques

F° de / F° de	None	Nano	Raspi	Para	Servo 1	Servo 2	GPS	Gyro	Alti	Msécu
None										
Nano										
Raspi										
Para										
Servo 1										
Servo 2										
GPS										
Gyro										
Alti										
Msécu										

TABLE 1.3 – Tableau de croisement de cas critiques

5.9 Phase 2 - Pilotage

Dans le cas où le parapente se déploierait correctement, soit que le vol se déroule selon le cas (cf. **Composants SQN en phase 1**) s'enclenche la "Phase 2" qui durera jusqu'à l'atterrissage de la fusée au sol, de quelque manière que ce soit.

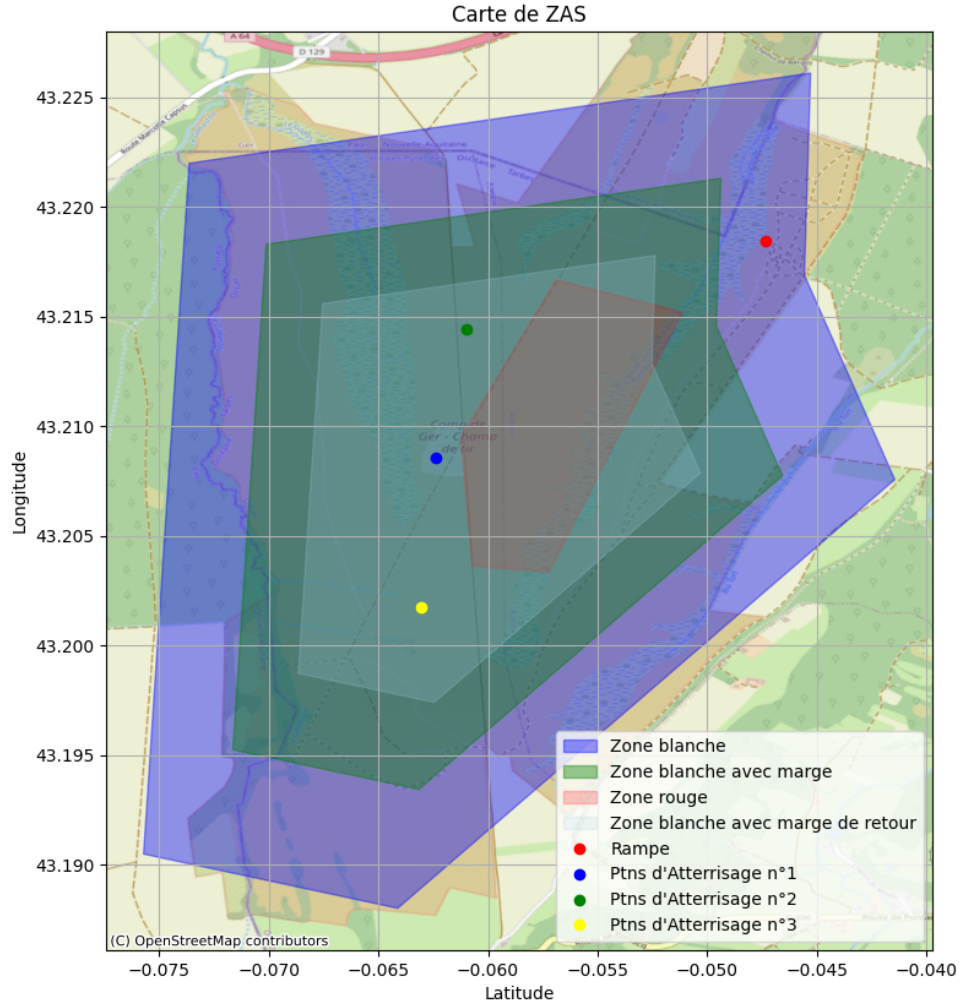
Notre matrice répertoriant les risques et leurs niveaux critiques ainsi que nos justifications pour chacun d'entre eux est la suivante :

Type d'échec	Phase de la mission	Niveau critique	Commentaire de l'équipe et justification
Pas de séparation de la coiffe et par conséquent pas de déploiement de parachute	Apogée	5	Dans ce cas aucun des parachutes ne se déploiera (ni le premier ni le parapente).
Une grande rafale de vent peut pousser la fusée	Phase de vol	1	Si la vitesse de la fusée est correcte, notre finesse devrait compenser l'oscillation. De plus la double sécurisation physique et logicielle permet d'assurer que la fusée ne sortira jamais du gabarit de vol.
Souci de communication entre la raspi et la nano	Phase d'allumage	5	Si la nano et la raspi ne peuvent communiquer, le parachute / parapente ne pourront se déployer et donc ça sera un échec
Souci de communication entre la raspi et la nano	Phase de vol	4	Si la nano et la raspi ne peuvent communiquer, l'expérience sera avortée mais le vol passera en vrille forcée et donc le vol ne sera pas une catastrophe
Un ou deux servo est en échec	Phase de descente	4	Le contrôle du parapente passe en mode vrille via le msécu
L'altimètres est en échec et/ou ne récupère pas de données/ne fonctionne pas	Phase de vol	1	Si l'altimètre ne fonctionne pas ils n'interféreront pas avec la mission sauf dans le cas où le parapente s'est déployé au-dessus des ADEFINIR et donc nous activerions la vrille d'échec.

Le GPS ne fonctionne pas ou ses données ne sont pas fiables	Phase de descente	3	Si le GPS ne fonctionne pas durant : [ADEFINIR] alors le système passe en vrille de d'échec pour que l'on soit sûr de ne pas sortir de la zone. Sinon on reprend le vol
Le moteur de sécurité est en échec mais le vol se déroule bien	Phase de descente	1	Le système à un vol normal vu que le moteur n'est pas en jeu.
Le moteur de sécurité est en échec et le vol se déroule mal (servo en échec)	Phase de descente	5	La fusée pourrait sortir des zones autorisées par planète sciences

TABLE 1.4: Matrice des risques

Schéma de vol - FX06 - Xeon



Pour le calcul de la marge sur le schéma de vol, nous posons les postulats suivants :

- La vitesse de chute verticale $v_{ver} = 4m.s^{-1}$
- Le déport horizontale dû au vent $v_{hor} = 5m.s^{-1}$
- Une altitude de déploiement du parafoil cohérente $alti = 400m$

On sait :

$$v = \frac{d}{t}$$

On a donc :

$$margeSecu = \frac{alti \times v_{hor}}{v_{ver}} = \frac{400 \times 5}{4} = 500m$$

Le contour extérieur de la zone bleue étant le gabarit légale, on place le contour extérieur de la zone verte à 500 m de cette zone afin que le déport latéral en vrille de sécurité ne fasse jamais sortir la fusée du gabarit légale. Le contour de la zone vert clair correspond à la zone de "manœuvre d'évitement".

Nous proposons 3 points d'atterrissage, numérotés de 1 à 3 par ordre de préférence personnelles, à délibérer par la commission de sécurité au sujet de la proximité avec la zone rouge, et la facilité d'accès.

Quatrième partie

Retours sur le projet

6 La difficile gestion de l'équipe

La gestion de projet est un point complexe de tous les projets, étudiants.

Réussir à garder une équipe motivée, disponible, productive et maintenir le plaisir de chacun est quelque chose qui n'est pas facile.

Maintenant, rajoutons à cette situation : une équipe de 6 personnes ; 2 sont lycéens et le reste sont des élèves-ingénieur ; sur les 4 élèves-ingénieur, 2 sont à l'étranger de septembre à janvier et 2 autres sont à l'étranger de février à juin ; 2 bonnes heures de transport les séparent.

En bref, il a fallu subdiviser le travail pour essayer de garder tout ça efficace !

La subdivision naturelle s'est faite de cette manière :

- les personnes à l'étranger ne faisaient que du distanciel (rédaction de document, codes..)
- les 2 élèves-ingénieur sur place avaient des tâches mécaniques ne nécessitant pas le corps de la fusée avec eux (essai de coiffe carbone, bague de maintien des ailerons)
- le reste était fait par AcelSpace, car ils possédaient plus d'expérience

Pour prendre un exemple de complication, poser une réunion dans une équipe comme celle-ci était très compliqué, en effet en ayant 2 d'entre nous qui étaient respectivement en Corée et au Canada, il fallait donc trouver des horaires convenant à tous.

Pour mener à bien le projet il a donc fallu que chacun rogne sur un peu de confort et de temps pour que chacun puisse participer aux projets, au vu de la complexité du projet ce n'était pas une mince affaire..

7 Le vol

Voici maintenant un déroulé du vol effectif de Xeon avec un regard critique sur chacun des éléments évoqués :

- **Retard du vol** : à Tarbes, nous avons dû faire face à différents impondérables (problème de charge des batteries, mauvaise coordination avec Florent Mosnier qui embarquait un module à bord de la fusée (qui au final a volé inopérant, comme masse morte), sous-estimation du temps de démontage/remontage entre les tests et controls, ...) qui ont conduit au retard du vol au dernier jour de lancement.
- **Le vent** : nous avons donc été forcés de tirer le dernier jour, et malgré l'aide que nous avons reçue au sujet des conditions météo (avancement du créneau de tir le matin, rotation des rampes), le vent a été notre ennemi à chaque phase du vol. Ainsi, au décollage, le vent a penché la fusée dans sa direction à cause de nos grands ailerons, mais ces derniers sont parvenus à stabiliser et reverticaliser la trajectoire de la fusée ; au sujet du pilotage du parapente, le vent a poussé la fusée hors du gabarit de sécurité, et ce faisant empêchant le déploiement du parapente. Nous voyons donc redescendre la fusée sous parachute, et aller se perdre dans la forêt.
- **La récup'** : la récupération de la fusée a été également complexe à cause de la position désavantageuse de la fusée : loin de la ZAS, et dans un arbre, à 20m du sol, loin de tout sentier balisé. C'est Hugo A. qui nous a permis, grâce aux images du vol prise par son drone, et son drone lui même, de retrouver la fusée. Sous parapente, quel que soit la qualité du pilotage, la fusée aurait inévitablement été déviée dans la direction de l'aéroport présent de l'autre côté de la forêt, et au vu de la plus faible vitesse de descente, le pilotage aurait été dangereux (même en prenant en compte la vrille de sécurité définie avec une vitesse de vent de $5m.s^{-1}$, certainement en dessous des conditions effectives).

Le contour extérieur de la zone bleue étant le gabarit légale, on place le contour extérieur de la zone verte à 500 m de cette zone afin que le déport latéral en vrille de sécurité ne fasse jamais sortir la fusée du gabarit légale. Le contour de la zone vert clair correspond à la zone de "manœuvre d'évitement".

Nous proposons 3 points d'atterrissage, numérotés de 1 à 3 par ordre de préférence personnelles, à délibérer par la commission de sécurité au sujet de la proximité avec la zone rouge, et la facilité d'accès.

8 Ouverture sur les projets futurs

Dans l'ensemble, nous considérons Xéon comme une fusée plutôt réussie. En effet, aucun système ne souffrait de mauvaise conception et ils fonctionnaient tous. Les critères de sécurité ne s'étant pas présentés, le parapente ne s'est pas déployé, mais cet "échec" montre le bon fonctionnement des scripts de sécurité. Toutefois, de nombreux aspects peuvent être améliorés. Voici une liste des principales améliorations/défauts présents.

- L'*ogive* : l'ogive fonctionne globalement très bien, mais certains aspects pourraient être améliorés. Notamment, le positionnement des ressorts d'éjection : en raison de leur force de compression, de leur emplacement actuel et des contraintes mécaniques de l'ogive, les ressorts ont parfois délaminé le PLA des coques, menaçant de les sectionner complètement. Pour éviter ce problème, un positionnement plus stratégique des ressorts est nécessaire.
- Le "*Bloc*" *élec* : À cause de la très forte densité de cette section, la taille de la trappe d'accès et le nombre de vis/câbles/connecteurs à fixer rendent le montage et le démontage des circuits extrêmement fastidieux et longs. C'est très peu pratique pour toute réparation et devient un sérieux problème lors des tests à Tarbes, lorsqu'il s'agit de ne pas perdre de temps. Un agrandissement de la trappe et ou une meilleure gestion du processus de montage/démontage nous aurait permis de gagner de précieuses heures/jours.
- Les *enrouleurs* : Les enrouleurs sont les deux pièces en PLA qui servent à "enrouler" les drisses de frein pour le pilotage du parapente. Ils présentaient deux problèmes : premièrement, en raison de leur taille, ils n'enroulaient peut-être pas assez pour avoir une conséquence sur la voile (paramètre qui n'a pas pu être mesuré). De plus, lorsque les freins n'étaient pas en tension et que l'enrouleur était actionné, le fil pouvait s'emmêler avec l'axe du servomoteur (sur lequel l'enrouleur est fixé).

Dans les choses qui nous ont paru très pertinentes sur ce projet, nous tenons à souligner l'intérêt qu'ont pu avoir les réunions hebdomadaires. En effet, nous avons pu parler de la difficulté que nous avons eue à réunir tout le monde, c'est là qu'ont pu entrer en jeu ces réunions qui avaient pour objectif de savoir où en était chacun et de donner au chef de projet une meilleure visibilité sur le travail des autres membres.

Cela a pu aussi permettre de garder une continuité sur les avancées du projet, maintenant pour aller plus loin il aurait fallu créer des objectifs par semaine/ par mois.

Pour le programme CIRRUS, Xéon est un semi-échec, c'est une réussite d'un point de vue système avec son algorithme de sortie de zone fonctionnel, mais le fait de ne pas avoir testé l'algorithme de pilotage et le déploiement du parafoil reste dommageable et ne nous permet pas de valider l'entière du système. Ce n'est que partie remise pour EuRoC 2025 pour AirESIEA, et Tarbes 2025 pour AcelSpace!

Merci de votre lecture !!