

Document de présentation de SP-02



Table des matières

Introduction	2
Présentation du projet.....	2
Choix du type de projet (FuseX, Minif, Cansat)	2
But du projet	5
Esquisse de projet	8
Nombre de membres.....	8
Choix des matériaux.....	8
Choix du propulseur	9
Esquisse de budget	10
Diagramme de Gantt.....	11

Introduction

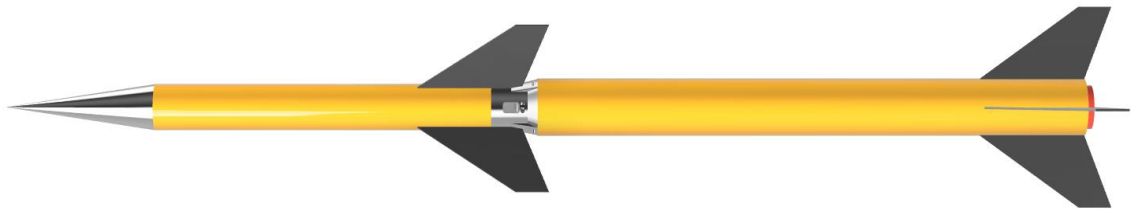
Présentation du projet

Nous avons pour objectif de **développer un lanceur biétage** avec pour principale mission de concevoir et fiabiliser un système de **séparation à froid couplé à des aérofreins**. En parallèle, la fusée et son étage supérieur posséderont un ensemble de capteurs afin de faire un lien entre nos simulations et calculs analytiques avec un vol réel ainsi que d'un système de largage de mini Cansat.

L'équipe en charge de la **gestion du projet** sera **Malo AMARANTI, Alexis PAILLARD et Lucas PICHON en tant que chef et co-chefs respectivement** et ce dans le but de pouvoir pérenniser la direction des membres sur l'ensemble de l'année, et non pour un unique semestre (Cf. Diagramme de Gantt).

Le projet sera réalisé dans le cadre d'un PMI réalisé par Maxens LE-CAM, Alexis PAILLARD, Guillaume PEIX et Lucas PICHON avec pour sujet d'étude : ***ET-2 | Perspective d'expérience d'un système de séparation d'étages de fusée par aérofreinage.***

Cette contrainte ajoutée au projet permettra de **développer et de fiabiliser les procédés de fabrication**, tout en pérennisant les connaissances acquises depuis le début. En prime, nous avons pour objectif d'inclure une variété de profils au sein du projet (nouveaux et anciens).



(Ce visuel est un ancien model permettant de visualiser la structure et l'assemblage des deux étages)

Choix du type de projet (FuseX, Minif, Cansat)

Le choix du type de projet a été fixé en amont aux vues des contraintes de place nécessaire au développement d'un système de séparation avec aérofreins. De plus, l'utilisation de cette technologie serait inutile sur une mini fusée biétage par leur faible vitesse et écart entre les deux étages.

C'est pourquoi nous avons opté pour une architecture fusex-minif qui s'articule autour de deux moteurs :

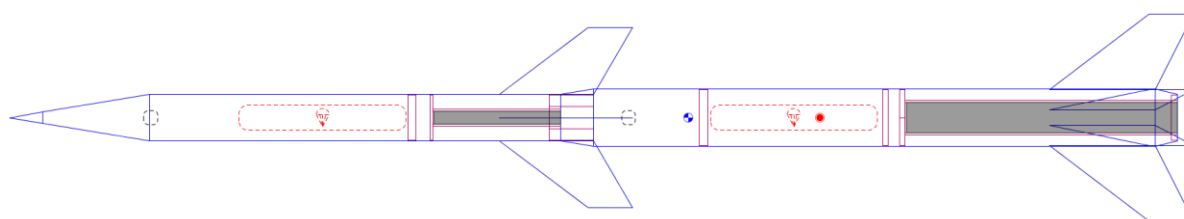
- Un Pro54-WT pour l'étage principal (Fusex)
- Un Pro-24-6G pour le second étage (minif)

Après discussions avec Planète Sciences, un double lanceur en Pro54 pour chaque étage serait plus difficile à valider lors des contrôles et du suivi tout au long de l'année. De plus, avoir un Pro54 sur le 2^e étage impliquerait de l'alourdir fortement afin de ne pas être en zone supersonique et de respecter les critères balistiques (> à 4 km de portée sur x pour un lancement à 45°). La solution la plus efficace

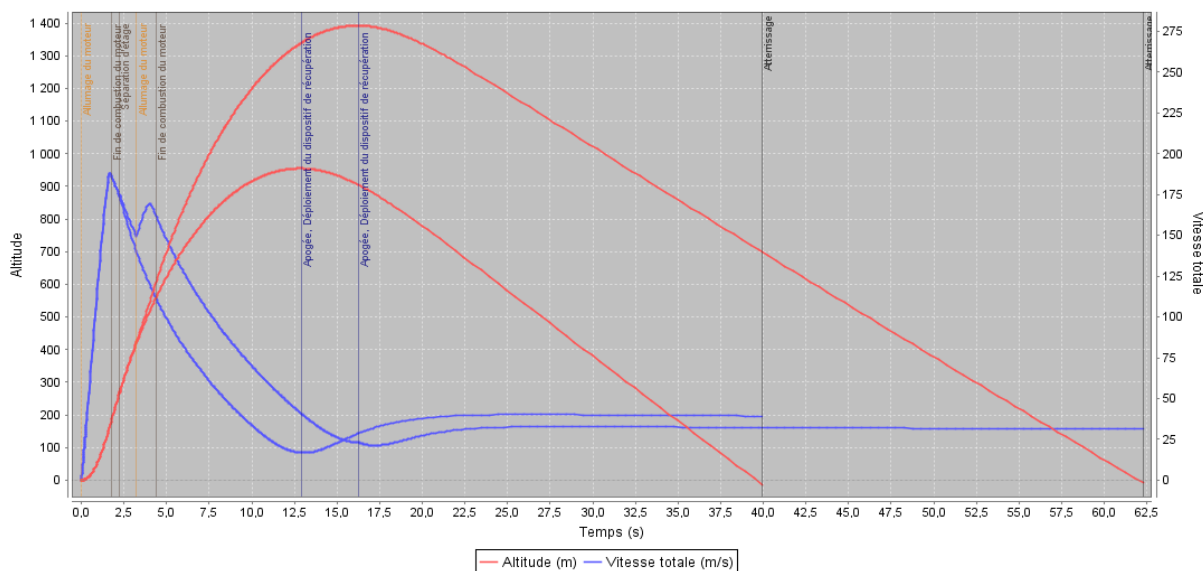
dans notre contrainte temporelle est Pro54-Pro24. Cela permet, à défaut d'avoir une fusée moins puissante, de répondre à toutes nos expériences.

Voici les caractéristiques de la fusée dans son état actuel :

- 1^{er} étage :
 - Longueur (sans ailerons) : 1110 mm
 - Diamètre interne principal : 100 mm
 - Nombre d'ailerons : 4
 - Masse : 4760 g
- 2^e étage :
 - Longueur (sans ailerons) : 1050 mm
 - Diamètre interne principal : 80 mm
 - Nombre d'ailerons : 4
 - Masse : 3320 g
- Ensemble
 - Longueur (sans ailerons) : 2100 mm
 - Masse : 8080 g

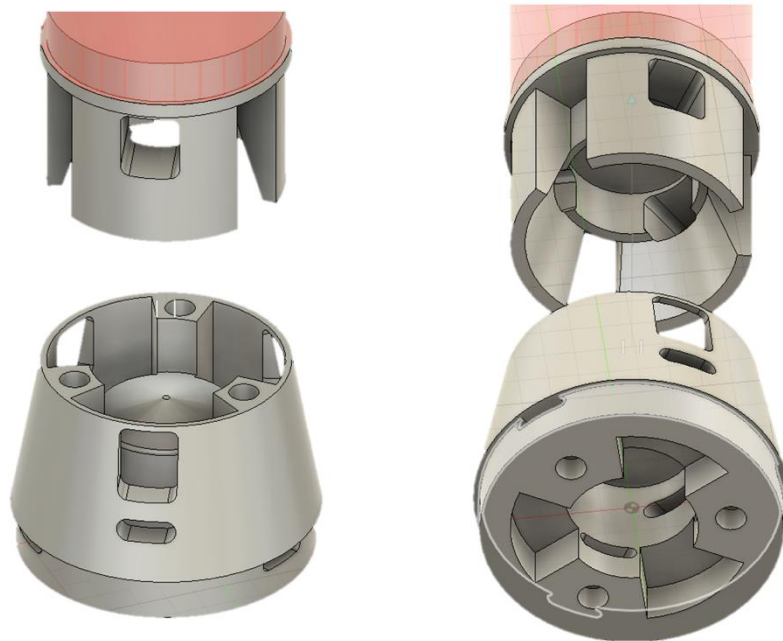


Simulation 1
Personnalisé



Les simulations OpenRocket nous indiquent une altitude maximale, pour un lancement à 80°, de 950 m pour le 1^{er} étage et de 1400 m pour le 2^e étage avec une vitesse maximale de 190 m/s atteinte à la fin de la propulsion du 1^{er} étage.

La conception du système inter-étages a débuté pour nous avancer au mieux sur le PMI. D'autres améliorations sont toujours en cours, notamment avec une étude plus approfondie de la chaîne de côtes du système pour nous assurer de leur bonne compatibilité ensemble sans trop de jeu, ainsi que des études de calcul de structure et de CFD.



Nous pensons aussi à ajouter des pièces permettant de régler la flèche facilement sur les deux pièces, pour être sûr que le système sera approuvé lors des contrôles. Toutes ces pièces critiques seront usinées en aluminium par des professionnels afin d'en garantir la qualité. Malgré l'arrivée du Skylab à l'IPSA, il a été jugé que nous n'avons pas les compétences nécessaires pour faire des pièces aussi critiques.

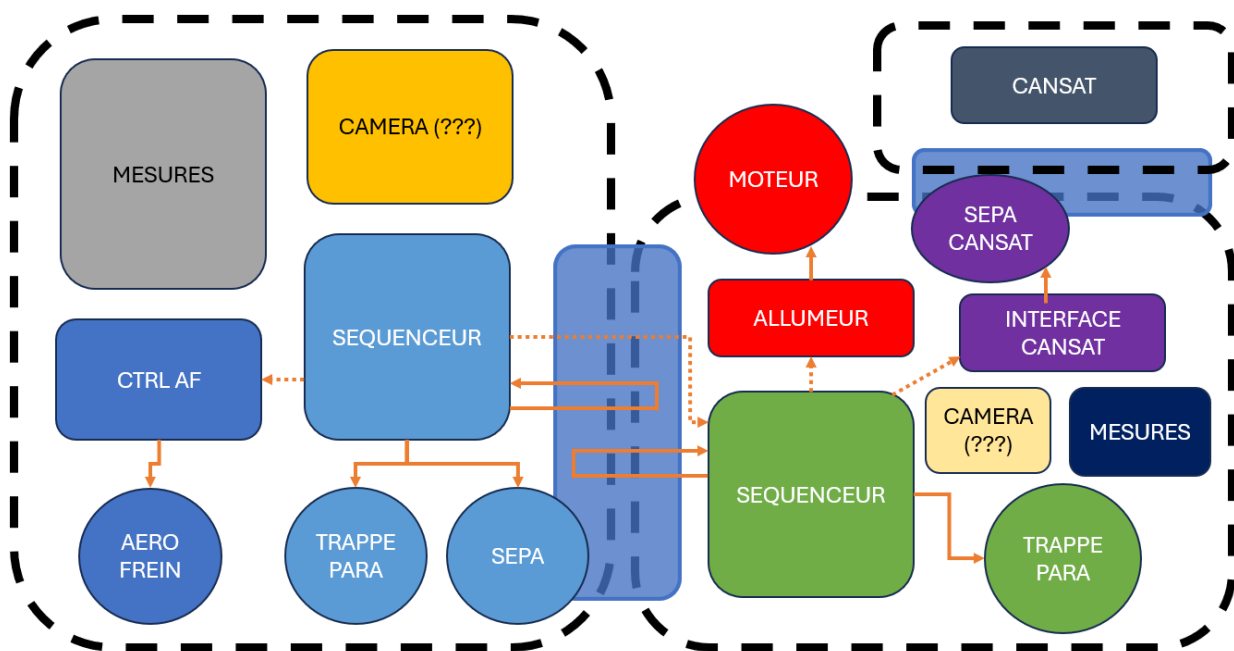
But du projet

SP-02 est un projet de fusée expérimentale avec pour **objectif deux vols en juillet 2026**, dont un vol passif pour valider le bon fonctionnement des systèmes embarqués et un vol actif avec les deux moteurs comme prévu pour notre expérience.

Cette fusée a pour **objectif d'être réalisée de septembre 2025 jusqu'à juillet 2026** sans poursuite prévue du projet si complications rencontrées, du fait que le projet est porté par des Aéro5 et Bachelor3.

L'ensemble de la fusée peut se découper en 14 parties :

- 2^e étage
 - Les caméras
 - Les capteurs de mesure de données
 - Le système de récupération
 - Le système cansat
 - Le séquenceur
 - Le bloc propulsion
 - Le bloc séparation
- 1^{er} étage
 - Les caméras
 - Le bloc séparation
 - Les aérofreins
 - Le séquenceur
 - Les capteurs de mesure de données
 - Le système de récupération
 - Le bloc propulsion



Les objectifs fixés par le projet par ordre d'importance sont :

- 1 Concevoir et de faire voler un vecteur d'expérience bi-étagé et ce en assurant la sécurité en toutes circonstances.
- 2 Fournir un vecteur d'expérience répondant à la problématique du PMI. Les organes sensibles servant seulement à cette expérience sont le système de séparation, les aérofreins et certains capteurs de mesure de données.
- 3 Mesurer en continu une myriade de données et de les envoyer par télémesure à une station sol.
- 4 Largage d'un cansat expérimental.
- 5 Monter en expérience les différents membres du projet.
- 6 S'amuser (parce que cela reste le but quand même important).

SP-02 est un projet ambitieux qui nécessitera un suivi régulier tout au long de l'année.

Il ne s'agit pas du projet le plus simple pour de nouveaux membres de l'association, mais il intègre volontairement une dimension formatrice. **L'objectif est de permettre aux nouveaux arrivants de s'impliquer, de développer leur autonomie et d'acquérir des compétences variées.**

Dans ce cadre, SP-02 comprend la réalisation d'un CanSat. Ce projet est mené en autonomie par les nouveaux membres, tout en étant accompagné par les chefs de projet. Ces derniers assurent un rôle de soutien et d'encadrement, afin de les aider à surmonter les éventuelles difficultés rencontrées. La conception du CanSat et de son système de trappe et de largage fera intervenir des aspects de mécanique, d'électronique et de programmation dans une fusée.

Dans le cadre de l'expérience, nous avons détaillé une chronologie des événements des deux vols pour comprendre et expliquer toutes les expérimentations implémentées dans les deux vecteurs :

1. Fusée préparée en Zone Club (batteries, stockage données, capteurs calibrés, station sol prête...)
2. Fusée mise en rampe (allumage et armement des différents systèmes électroniques et attente d'une communication radio entre le sol et la fusée)
3. Décollage (Commencement de l'enregistrement des données et des timers des séquenceurs)
4. Fin de propulsion du 1^{er} étage à Tp1 (ouverture des aérofreins et déverrouillage des 2 étages)
5. À Tp1 + ΔT_{af} , Déverrouillage des ressorts servant à la séparation des étages
6. SI SEPARATION, alors à Tp1 + ΔT_{wait} , mesure de l'attitude du 2^e étage
7. SI ATTITUDE CORRECTE, alors allumage du moteur du 2^e étage
8. Étage 1 à l'apogée, déclenchement du système de récupération de l'étage 1
9. Étage 2 à l'apogée, déclenchement du système de récupération de l'étage 2 et largage du cansat

Les fenêtrages temporels des 2 séquenceurs vont être définis en suivant les étapes du logigramme suivant (le diagramme est aussi dans le dossier sous format pdf) :

Esquisse de projet

Nombre de membres

Dans le cadre de l'élaboration de notre fusée biétage, nous sommes actuellement 5 dont 4 pour la partie PMI. Nous serions prêts à **accueillir au moins 10 membres supplémentaires motivés (anciens comme nouveaux)** dans le but de réaliser la fusée sur l'entièreté de l'année.

Le nombre de membres est important dans la répartition des tâches et l'avancement global du projet. Ce quota fixé en amont d'au moins **15 membres** est crucial car cela permettra de garder un minimum de personnes intéressées sur l'ensemble de l'année (et si on recrute 25 personnes, on perdra en acquisition de compétences pour les nouveaux).

En termes de répartition en phase de conception, nous pensons répartir :

- 60% des ressources sur l'électronique/code (~9 membres)
- 40% des ressources sur la structure et intégration mécanique des deux étages (~6 membres)

Puis dans les étapes de réalisation, nous pensons nécessaire que tous les membres puissent participer à l'ensemble des tâches (tube, ponçage, soudures, tests, codage, usinage ailerons...) pour qu'ils découvrent et apprennent un maximum de processus d'AéroIPSA.

NB : Ces indications peuvent être amenées à évoluer en fonction du nombre de personnes recrutées et présentes sur le projet afin d'avancer dans un rythme qui soit en accord avec le diagramme de Gantt.

Choix des matériaux

Dans l'élaboration globale du projet, nous avons pré-estimé les différents matériaux pour la réalisation de SP-02 :

- Système de séparation en aluminium (grade 5000 min. et grade 7000 idéal)
- Tubes des deux étages en composite (choix de la fibre de carbone à confirmer au niveau CEM pour l'intégration de la télémessure dans le 1^{er} étage)
- Possible renforcement du premier étage avec des longerons (vérification lors de la conception lors de l'étude par éléments finis)
- Coiffe en fibre de verre
- Ailerons en fibre
- Structure interne en alu pour les bagues de maintien des parachutes, composite pour les cages parachute et PLA pour les plus complexes à réaliser.

De plus, nous avons une partie du budget allouée à l'achat de pièces et différents matériaux pour nous outillages, pièces de guidage et vérification lors de la fabrication et du contrôle de notre projet.

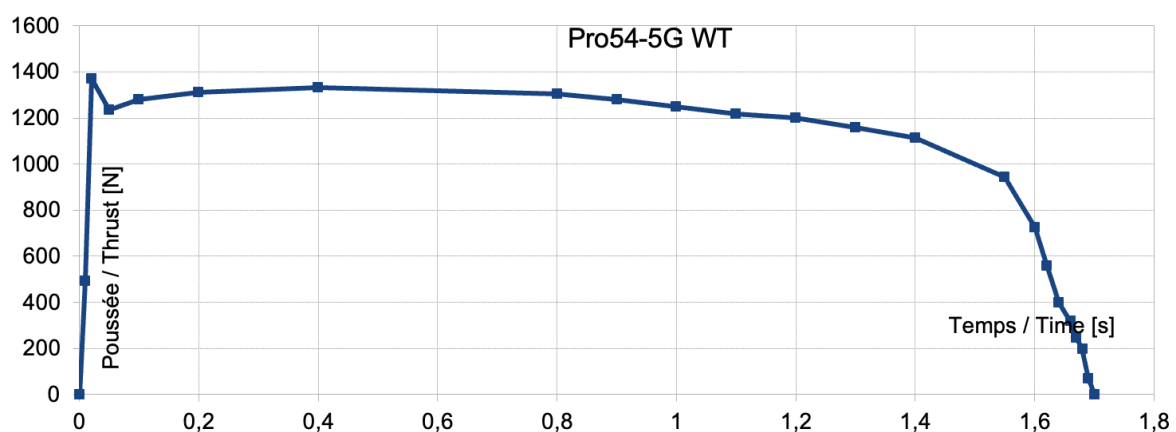
Nous prévoyons de concevoir et assembler un banc de flèche (composé de profilés en aluminium) afin de nous assurer de la conformité du module de séparation avec le cahier des charges.



Choix du propulseur

En complément des informations évoquées pour le choix du type de projet, nous souhaitons détailler davantage notre choix porté sur les deux moteurs.

En effet, nous avons opté pour un Pro54-WT et un Pro24-6G. Le choix du Pro54 pour le premier étage est dû aux nombreux problèmes d'approvisionnement de moteurs lors de ce C'Space car peu de Pro75 mis à disposition lors de la campagne 2025.



Le Pro-24-6G est la solution pour le second étage car il nous permettra de fiabiliser plus facilement l'ensemble auprès de Planète Sciences.

Esquisse de budget

Afin de procéder à la réalisation de notre projet, il est primordial de dresser une esquisse de budget aussi détaillée que possible afin de refléter au mieux la situation.

En effet, nous avons fait le choix de structurer notre budget par type de pièce (mécanique, électronique...) et si cette pièce est de type standard (achetée et utilisée sans modification) ou conçue en interne par nous-mêmes.

Nous possédons 4 catégories de pièces pour les deux étages de la fusée :

- Composants structurels standards (achetés et utilisés comme tels) : 652,42€
- Composants structurels internes (usinés ou fabriqués) : 830,00€
- Composants électroniques : 796,83€
- Actionneurs (séparés des composants traditionnels des PCBs) : 105,00€

Type	Pièce/composant	Référence	Quantité	Prix total
Standard	Structure	Références		
	Fibre de verre*	Taxe Carbonne	5	80,00 €
	Tube étage 1 ø100mm	https://www.metalxact.com/alu-rundrohre-blank-100	1	112,00 €
	Tube étage 2 ø80mm	https://www.metalxact.com/alu-rundrohre-blank-80	1	44,00 €
	Capteur Pitot	https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-pression-mpx	2	59,80 €
	Bobine PLA	x1 bobine PLA pour les moules + x1 bobine PETG	2	80,00 €
	Caméras	https://shop.runcam.com/runcam-phoenix-2-special	5	124,75 €
	Émerillon	https://www.leroymerlin.fr/produits/emerrillon-oeil-oi	2	17,18 €
	Suspente (à réviser)	https://www.kanurope.fr/corde-aramide-arabraid-2m	100	41,69 €
	Plaque aileron (Ailerons sup' car 2 vols)	https://www.ahitec.de/shop/de/GFK-black-600-x-500	2	83,00 €
	Roulement à bille + circlip	https://www.123roulement.com/roulement-palier/ro	1	10,00 €
Interne	Structure	Références		
	Pièces bloc séparation	CAO	-	550,00 €
	Pièces bloc aérofreins	CAO	-	50,00 €
	Pointe alu coiffe	CAO	1	50,00 €
	Bagues para (alu 7075)	CAO	2	70,00 €
	Bague Pro75 + attache propu (alu 7075)	CAO ? Ou Fibre ?	1	30,00 €
	Patins (alu 7075)	CAO	2	30,00 €
	Cartes PCB	CAO	10	50,00 €
Standard	Composants électroniques	Références		
	Carte mère (arduino ou équivalent APX)	https://store.arduino.cc/products/nano-r4	4	53,60 €
	Composants SMD (LED, R, C...)	RS, Farnell, GoTronic, LCSC...	-	60,00 €
	Piles	Combo piles Li-po et 9V selon ce qu'on souhaite	10	150,00 €
	Interrupteurs	https://www.amazon.fr/RUNCCI-YUN-Interrupteur-Gl	6	8,99 €
	Ports USB-C	-	4	20,00 €
	MPU9250 [WT901B]	https://witmotion-sensor.com/products/ahrs-mpu92	3	75,60 €
	USB to serial converter	https://witmotion-sensor.com/products/usb-uart-6-ir	2	28,64 €
	Baromètres	-	3	45,00 €
	Téléométrie (antenne + module)	-	-	80,00 €
	Jack ou capteur	-	2	5,00 €
	Contacts PCB	-	20	40,00 €
	Consommables élec (fils, gaine, isoprop...)	-	-	- €
	Stockage data (SD + flash)	-	2	30,00 €
	Autres composants/APX	-	-	200,00 €
Standard	Actionneurs	Références		
	Servomoteurs trappes para	-	2	30,00 €
	Servomoteur système séparation	-	1	15,00 €
	Actionneurs système Aérofreins	-	4	60,00 €
Standard	Banc de flèche & Banc de test	Références		
	Profilés alu pour banc de flèche	https://www.norelem.fr/fr/Aperçu+du+produit/Systèm	2	120,00 €
	Maintien profilés banc de flèche	https://www.norelem.fr/fr/Aperçu+du+produit/Systèm	6	45,60 €
	Visserie/pièces supplémetaires	-	-	20,00 €
	Table de test vol/allumage	CAO	1	100,00 €
Standard	Outils	Références		
	Laser	[ASSO]	-	15,00 €
	Clé dynamométrique	[ASSO]	-	- €
	Tournevis	[ASSO]	-	30,00 €
	Pied à coulisse Mutitoyo	[ASSO]	-	- €
	Chargeur piles	[ASSO]	-	- €
Standard	Autres/divers	Références		
	Frais de port/douanes	-	-	250,00 €
	Ziploc	-	-	-
	Helicoils (pour pièces alu)	https://fr.rs-online.com/web/p/filets-rapportes/04710	3	15,00 €
	Loctite	amazon	1	25,00 €
			213	3 004,85 €

*D'autres composants non détaillés peuvent être ajoutés ou supprimés

De plus, dans le cadre d'une fusée biétage, un élément important de contrôle à valider pour les RCE et le C'Space est la flèche. Cette contrainte fixée par le cahier des charges est d'autant plus importante afin de vérifier notre système de séparation et de nous assurer d'une qualification pour la campagne de lancement. C'est pourquoi nous avons ajouté dans notre demande de budget 260€ exclusivement réservé à la réalisation d'un banc de flèche pour l'association.

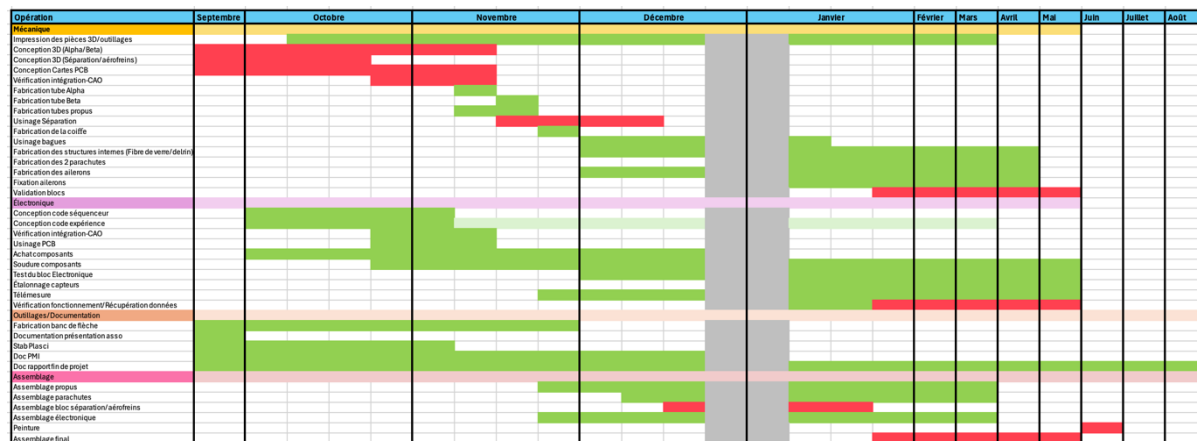
Les deux dernières catégories de composants évoqués dans le tableau ci-dessus sont les outils et composants divers. La première fait référence à des outils déjà présents ou que l'on souhaiterait ajouter à ceux de l'asso avec le budget de l'asso prévu à cet effet. Les composants « Autres/divers » prennent en compte les aléas de commandes avec les frais de port ainsi que des composants que l'on pourrait avoir besoin suivant l'avancement du projet.

En conclusion, la **demande de budget pourra être fixée à 2750€ sans les imprévus de frais de douane**, et 3000€ avec lors des différentes commandes de pièces usinées. Également, **nous prévoyons de soumettre une demande de budget à l'IPSA pour financer la partie PMI visible en bleu dans le tableau Excel (~650€).**

Diagramme de Gantt

Sur le même principe que l'esquisse de budget, nous avons dressé un ordre de réalisation afin de respecter les différents deadlines fixés par les différentes RCE, les meetings pour le PMI et les différents rendus de documents nécessaires à la validation du projet.

Dans notre cas, nous avons réparti nos tâches de la manière suivante :



La construction détaillée de novembre à janvier nous permet de répartir au mieux les tâches liées à la fabrication des tubes et pièces en fibre de verre ce qui nous permettra de confirmer les différents diamètres pour nos pièces à usiner avant janvier.

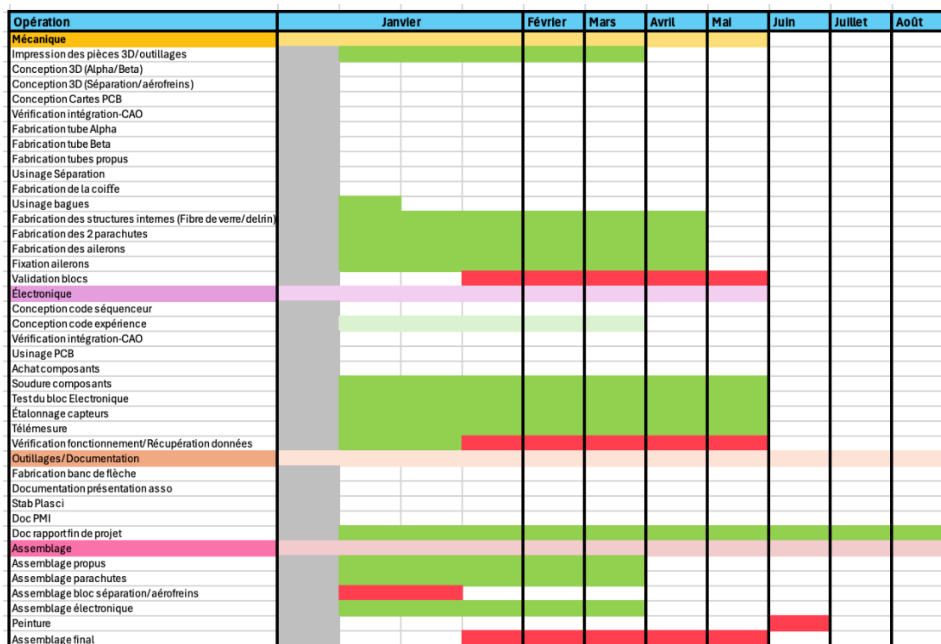
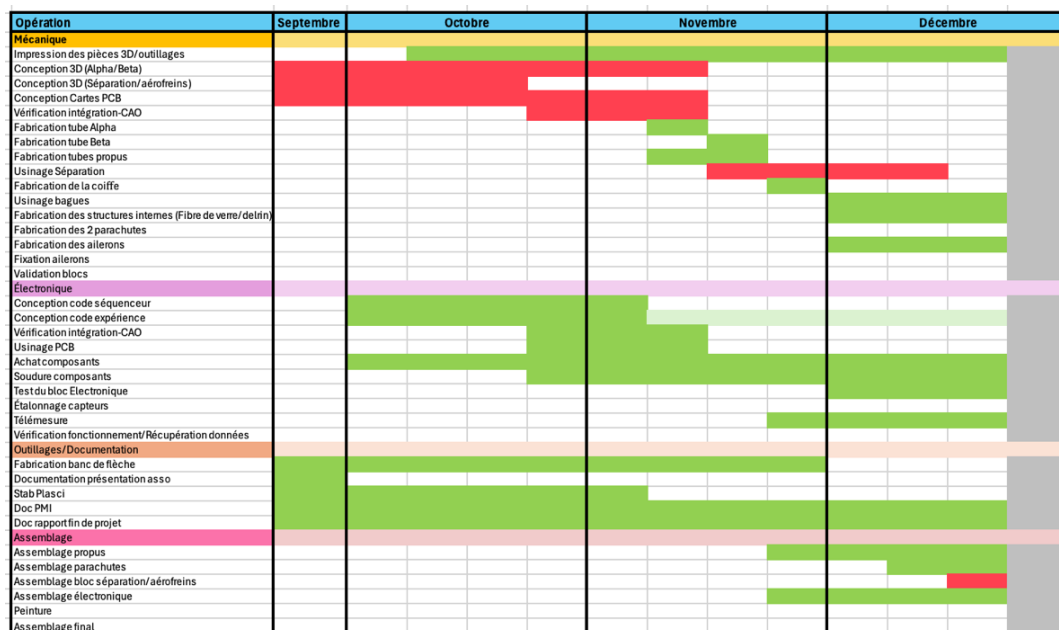
Cette contrainte de temps est prise en compte pour permettre aux nouveaux de s'investir sur ces tâches sans négliger les cours et l'apprentissage au début de l'année, qui est nécessaire à nos yeux.

Enfin, avec les différentes prévisions, nous obtenons un chemin critique en rouge, synonyme de potentiels retards sur le projet si les tâches en amont sont en retard. À noter que le chemin critique

sur le second semestre est guidé par la vérification du cahier des charges et de chaque point évoqué (ceci sera évoqué dans le prochain rapport d'avancement).

La problématique et les attendus du PMI ont été pensés pour permettre de se détacher de la réalisation de la fusée. Ainsi, **mis à part la conception du système de séparation et des aérofreins, toute la fusée sera à finir pour fin avril (avec mai pour les retards éventuels) et non pour fin décembre.**

Pour une meilleure lisibilité, voici le diagramme de Gantt du premier et du second semestre :



(*NA = Non applicable)

Ce document a été réalisé par le bureau de l'association étudiante AéroIPSA dans le cadre de l'année 2024-2025