

MEMOIRE PROJET TECHNOLOGIQUE LICENCE PROFESSIONNELLE METIERS de l'INDUSTRIE AERONAUTIQUE

Fusée expérimentale

Promotion 29

Année universitaire 2022 – 2023



Projet Hélios



Fiche d'identité du Projet

Titre du projet : Hélios

Chef de projet : CHUDZIK Romain

Manager pôle mécanique : MICHELIN Marc

Manager pôle électrique : NATALI Guillaume

Manager pôle communication : SEFERAGIC Nicolas

Manager pôle parachute : MORATA Florian

Responsable qualité : CAUCHARD Capucine

Responsable conception : ATIA Romain

Responsable logistique : DUBREUIL Augustin

Responsable organisationnel : JOLY Théo

Responsable environnemental : LEMBOURG Théo

Responsable sécurité : THIERS Christopher

Responsable budget : MARTINI Lucas

Responsable parachute : HEMAR Erwan

Responsable photos et vidéos : BUREAU Etienne

Site ou Réseaux sociaux :

Instagram : projet_helios

E-mail :

Projet_Helios@outlook.fr

Table des matières

I. REMERCIEMENTS	4
II. GENERALITES	5
1. CONTEXTE.....	5
2. GROUPE (ORGANIGRAMME)	5
3. OBJECTIFS	7
III. LE PROJET	7
1. PLANIFICATION.....	7
a. <i>Analyse de la situation</i>	8
b. <i>Jalons</i>	9
c. <i>Livrables</i>	9
d. <i>Budget et sources de financement</i>	10
e. <i>Risques</i>	11
2. REALISATION.....	12
a. <i>SQCDPIE</i>	12
b. <i>Logistique</i>	14
c. <i>Conception et montage</i>	15
<i>Mécanique</i>	15
<i>Électronique</i>	19
<i>Parachute</i>	22
d. <i>Intégration des nouvelles technologies</i>	27
3. CONTROLE	28
IV. CLOTURE	29
1. RETOUR D'EXPERIENCE SUITE AU LANCEMENT.....	29
2. DEVELOPPEMENT DES ETUDES (NON) MENEES	31
3. SATISFACTION DU GROUPE	32
4. CONCLUSION	34
5. PASSATION	35

I. Remerciements

Afin de réaliser ce projet, plusieurs personnes et entités nous ont apporté leur aide, nous tenons donc à les remercier au travers de ce mémoire.

Tout d'abord nous tenons à remercier l'équipe de POLYAERO, en particulier Killian MARANDEL pour son implication dans la mise en place des impressions 3D. Ainsi que Nicolas BORDIN pour son aide concernant la programmation du circuit électronique et son accompagnement pour la réalité virtuelle.

Lors de ce projet, nous avons dû nous déplacer à de multiples reprises au sein des locaux de Planète Sciences, que ce soit à Paris pour les Rencontre des Clubs Espace (RCE) ou à Tarbes pour le C'Space. Nous tenons donc à remercier ces structures et tous les bénévoles qui y travaillent, particulièrement les contrôleurs Gilles, Damien, Flavien et Sylvain qui nous ont aidés lors des qualifications au C'Space.

Nous voulons également remercier Thierry du CNES, qui a validé notre fusex et ainsi permis de l'envoyer vers les étoiles.

Nous souhaitons remercier tous les sponsors sans qui ce projet n'aurait pas pu aboutir, CORSAIR, LANCON INDOOR MODEL CLUB, PARAPENTE-CONTROLE, YOKTO, E-PROPS, AGE, MEES DECOUPE LASER, TONLOGOPARTOUT, POLYAERO, AEROTECH.

Pour finir, nous souhaitons également remercier l'ensemble des étudiants de la promotion P29 qui nous ont apporté leur soutien, leur aide ainsi que leurs compétences.

II. Généralités

1. Contexte

Durant notre cursus en LP MIA, nous devons réaliser un projet technologique.

Des projets prédéfinis sont proposés par le centre. Des projets sur lesquels ont déjà travaillé les promotions précédentes et que nous pouvions reprendre. Cependant, depuis notre arrivée, on ne cesse de nous répéter que rien n'est impossible. Alors, lorsque certains élèves ont eu l'idée de créer une fusée, un groupe s'est formé afin de porter ce projet jusqu'au bout.

2. Groupe (organigramme)

Nous sommes 14 élèves de licence professionnelle métiers de l'industrie aéronautique (LP MIA) du centre d'excellence de formations aéronautiques POLYAÉRO.

Dans le cadre de notre formation, notre groupe s'est formé grâce à l'intérêt commun que nous portons à la conception et la réalisation d'une fusée.

Afin de se répartir les rôles de façon réfléchie, nous avons chacun commencé par compléter un tableau des compétences. Ce tableau nous permet de remplir deux objectifs :

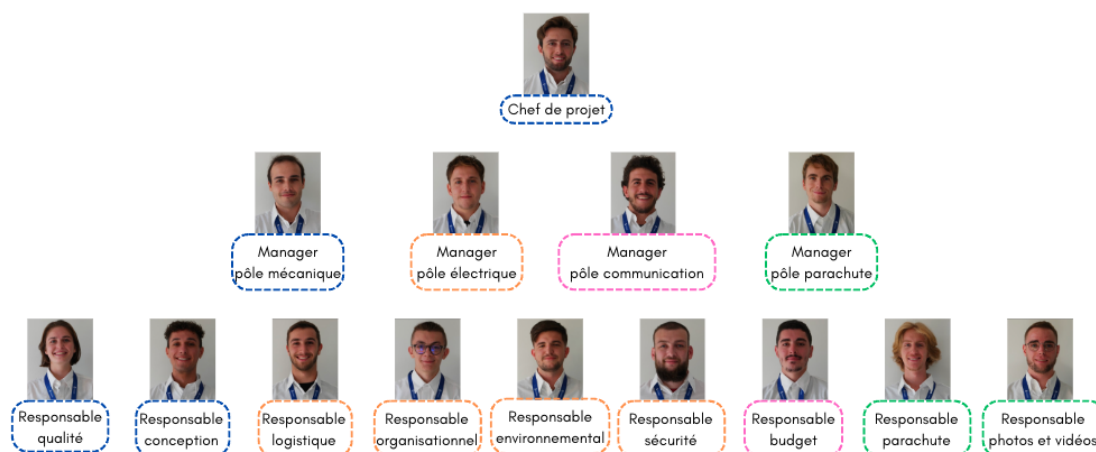
- Organiser les pôles de travail au mieux.
- Avoir un point de départ pour évaluer l'évolution de nos compétences suite à ce projet.

Niveau de compétence		
0	Non formé	Je n'ai qu'une connaissance théorique / pas de connaissance du tout de ce sujet que j'ai besoin ou envie de maîtriser
1	Debutant	Je pratique le standard, à mon rythme. Je me pose encore des questions sur le OK/NOK. La qualité de mon travail doit être systématiquement supervisée ou accompagnée
2	Intermédiaire	Je sais produire des résultats OK, avec le standard, à mon rythme. La qualité de mon travail doit être régulièrement supervisée
3	Autonome	Je produis régulièrement des résultats OK en autonomie au rythme requis.
4	Maîtrise	Je produis systématiquement des résultats OK en autonomie au rythme requis
5	Expert	Maîtrise totale du travail

	Communication	Organisation	Excel, Word, Gantt	Règlementation	Makris STADTRAU	3D experience	Outils 4.0 (RV, RA)	Mécanique	ROM	Montage photo/video	Electronique	Informatique
NOM												
Romain CHUDZIK	3	3	4	1	4	2	2	3	3	0	0	0
Marc MICHELIN	3	3	1	3	0	0	0	4	3	0	3	2
Guillaume NATALI	4	1	2	1	0	1	0	3	2	0	3	2
Florian MORATA	2	2	1	1	0	1	0	2	1	1	2	2
Nicolas SEFERAGIC	4	3	1	2	0	1	0	3	0	4	2	2
Etienne BUREAU	3	2	2	1	0	0	1	2	0	4	2	3
Christopher THIERS	3	2	4	2	0	0	0	2	0	3	3	3
Erwan HEMAR	4	4	2	4	0	1	0	3	2	4	1	4
Romain ATIA	2	3	2	0	0	1	3	4	3	1	1	0
Capucine CAUCHARD	2	3	2	1	0	0	0	1	1	2	1	2
Lucas MARTINI	4	2	2	3	0	1	0	2	1	0	1	2
Theo JOLY	3	3	3	1	0	1	0	2	1	1	3	2
Augustin DUBREUIL	3	2	2	3	0	1	0	4	3	3	2	2
Theo LEMBOURG	4	3	1	3	0	0	3	2	2	0	2	1
Moyenne	3	3	2	2		1	1	3	2	2	2	2
Maximum	4	4	4	4	4	2	3	4	3	4	3	4

À partir du tableau des compétences présenté précédemment, nous nous sommes organisés selon différents pôles. On retrouve la répartition des membres du groupe au sein des pôles selon le code couleur suivant :

- Pôle communication → Rose.
- Pôle électronique → Orange.
- Pôle mécanique → Bleu.
- Pôle parachute → Vert.



Cependant, ces postes restent flexibles. Chaque membre du groupe a eu l'occasion tout au long de l'année de s'intéresser et de participer aux activités des autres pôles. Ce fut même une nécessité lorsque certains pôles se retrouvaient dans une période de creux concernant la charge de travail alors que d'autres se trouvaient dans la situation inverse.

3. Objectifs

Problématique :

Comment intégrer les nouvelles technologies dans le développement d'une fusée expérimentale réutilisable ?

Enjeux technologiques imposés par la licence :

- Intégration de la chaîne de valeur 3D et de tous les outils numériques et de la Réalité Virtuelle et Augmentée dans les pratiques aéronautiques tant en bureau d'étude que technique.
- Mise en œuvre des outils de gestion de projet pour des actions d'amélioration et de fiabilisation nécessaires en fonction de la technologie, la documentation réglementaire et des critères de qualité, coûts et délais.
- Projets Technologiques en bureau d'étude, des méthodes, ordonnancement, qualité, réglementaire...sur aéronef.

Nos objectifs :

- Concevoir une fusée expérimentale et fonctionnelle.
- Récolter des données lors du vol pour étudier différents paramètres.
- Créer la structure à l'aide d'une imprimante 3D composite.
- Faire que la fusée soit réutilisable.

Solutions technologiques :

- Impression 3D de l'ensemble de la structure.
- Création de la fusée en Réalité Augmentée ainsi qu'en Réalité Virtuelle à l'aide d'un Scan 3D.
- Création de cartes de travail en Réalité Mixte.
- Simulation de maintenance en Réalité Virtuelle.
- Vérification du profil de la fusée en soufflerie.

III. Le projet

1. Planification.

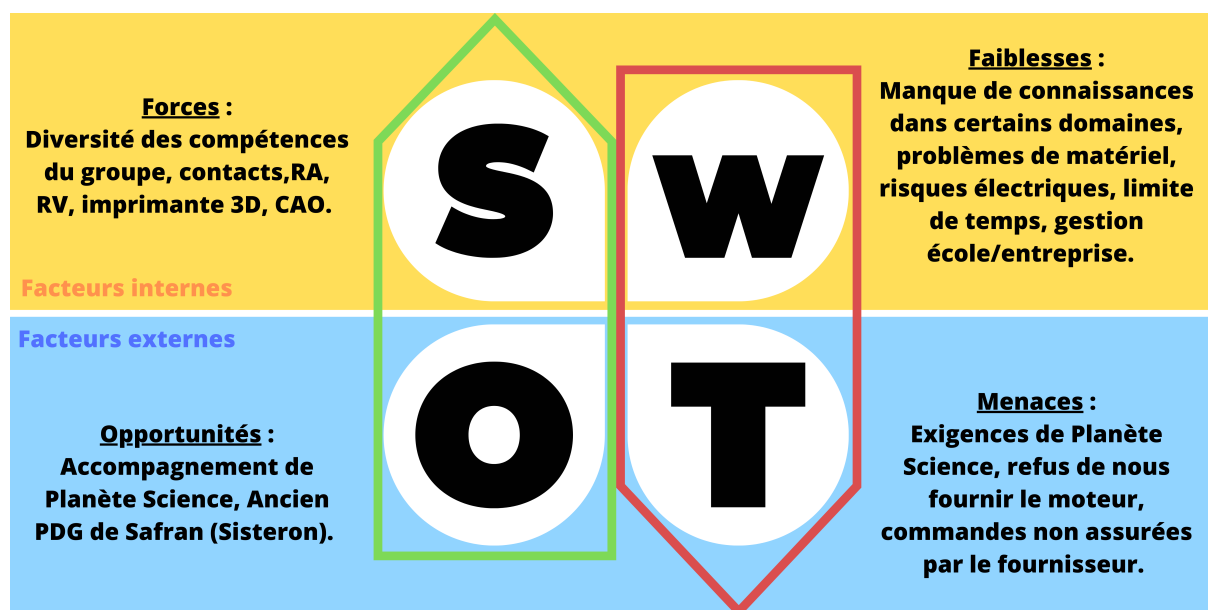
L'étude d'opportunité sert à monter un dossier afin de faire valider le lancement du projet par les supérieurs. En l'occurrence, nous devons faire valider notre thème par POLYAERO. Pour ceci, nous avons donc fait différentes présentations auprès de l'équipe pédagogique. Il nous a principalement fallu mettre l'accent sur les points suivant :

- Respect du cahier des charges de POLYAERO (enjeux technologiques imposés par la licence, cités précédemment).
- Budget (coût prévisionnel et plan de financement).
- Objectifs (les pourquoi ?, cités précédemment).

L'initialisation et la planification s'apparentent à des extensions de l'avant-projet, elles permettent d'expliquer plus précisément les points abordés dans cette phase. Ainsi, nous traiterons de ces trois phases simultanément ci-dessous.

a. Analyse de la situation

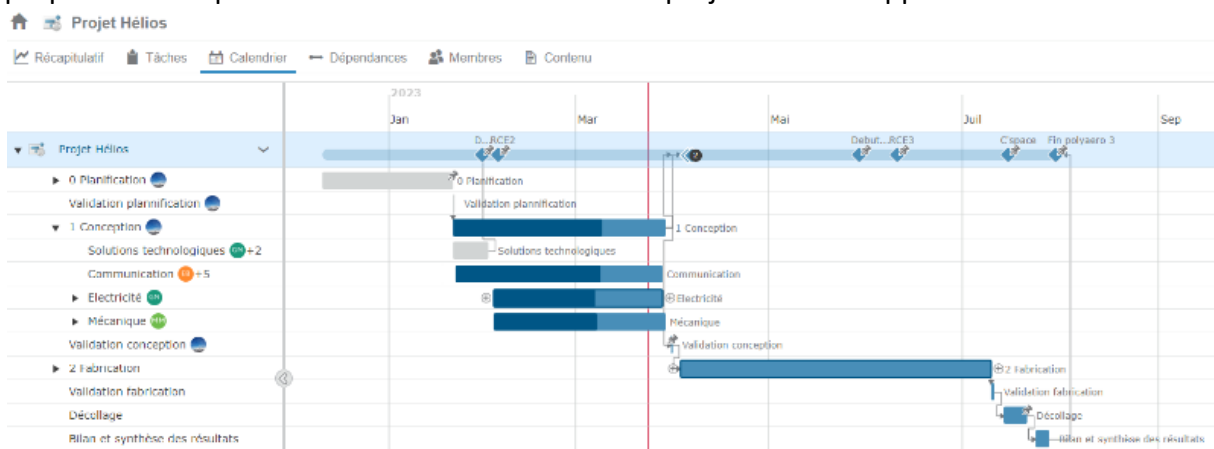
Nous avons commencé l'étude de notre projet par les forces et les faiblesses de notre projet au travers d'un SWOT que nous avons, par la suite, fait évoluer en PESTEL-AFOM.



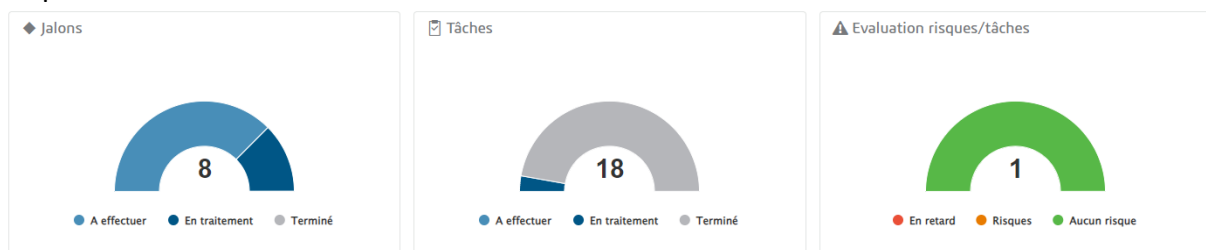
	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Politique	Parties Prenantes Soutiens de POLY dans la réalisation du projet	Gestion des CdC de POLY et PS Propulseur livré par PS Dépendance à PS pour l'autorisation de décollage	Formations à POLY RCE avec des ingénieurs du CNES	- Désaccord avec polyaéro ou planete sciences - Mauvaise communication au sein du groupe Tensions dans le groupe Temps donné aux projets Mauvaise organisation du groupe
Economique	Prise en charge du déplacement pour 2 personnes aux RCE	Prix élevé de l'impression 3d composite	Prise en charge du budget impression 3D par POLY	- Augmentation du prix de la matière première Composants à commander
Socio-culturel	Diversités des compétences du groupe Contacts personnels		Acquérir de nouvelles compétences (gestion de projet, technique)	
Technologique	Technologies 4.0 (RA, RV, scan 3D) 3D Experience Soufflerie Atelier GMP d'Aix à disposition	Découverte des technologies 4.0		Panne de l'imprimante 3D Gestion du temps d'utilisation des techno entre tous les projets
Environnement	Propulseur réutilisable Fabrication additive (pas de perte de matière)	Déplacements RCE et C'space	PS fournit un propulseur réutilisable	Perte de la fusée après décollage
Legal			Décollage assuré par PS Propulseur donné par PS	Dépendance à PS pour le décollage

b. Jalons

Suite à l'analyse de la situation, nous avons utilisé l'interface ENOVIA qui se trouve au sein de la plateforme 3D Expérience afin de gérer l'organisation de l'équipe. Cela nous a notamment servi à nous assurer de la répartition des charges de travail de chacun au cours du temps et en fonction des diverses compétences. En effet ENOVIA est un outil de gestion de projet permettant la collaboration au sein d'une même équipe mais aussi de veiller à une bonne coactivité entre chacun des pôles. Cet outil permet de créer des tâches (WBS) et de créer par la suite un calendrier Gantt global au projet, qui permet d'avoir un visuel sur l'avancée des opérations. Pour nous organiser nous avons commencé par nous fixer des jalons propres à l'organisation de POLYAERO et de Planète Sciences. Ensuite ENOVIA nous a automatiquement proposé un récapitulatif visuel de l'avancement du projet. Voici un aperçu :



Nous avons également le récapitulatif des jalons et des tâches ainsi que l'évaluation des risques/tâches. Ceci nous informe du travail à faire, en cours ou terminé avec leur niveau de risque et retard.

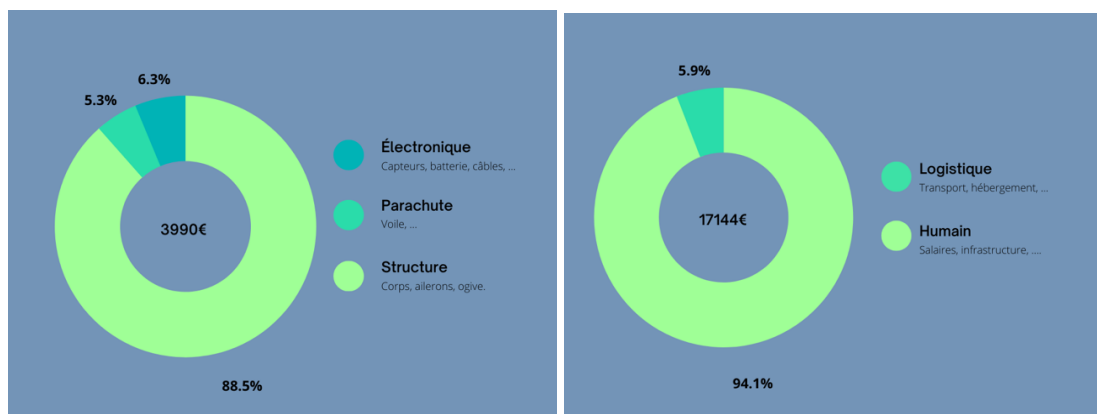


c. Livrables

Lorsque tous les objectifs cités plus tôt auront été atteints, les livrables de notre projet devraient être, dans un premier temps, la fusée expérimentale opérationnelle. Puis, les résultats des études menées lors du vol ainsi que tout ce qui concerne la passation (cartes de travail en réalité mixte, support en réalité virtuelle, documents, ...).

d. Budget et sources de financement

Le budget étant un point décisif, il a sérieusement été étudié en amont du projet. Nous avons donc commencé par réaliser une étude budgétaire afin d'estimer les coûts. Cela comprend d'une part la conception mécanique, électrique et parachute et d'autre part la logistique et l'humain (déplacements, salaires, infrastructures, ...).



À la suite de cette étude, nous avons mis en place un plan de communication dont l'un des objectifs était de trouver des dons matériels, subventions et sponsors afin de financer entièrement le projet. Nous avons donc démarché des entreprises en commençant par celles dans lesquelles travaillent les membres du groupe. Pour ceci, nous avons utilisé comme support des plaquettes de présentation détaillant l'ensemble du projet, nos objectifs et nos besoins (cf. annexe 2).

Deux entreprises nous ont offert du matériel qui fut précieux à la construction de la fusée. Parapente contrôle nous a fait don d'un parapente réformé dont nous avons coupé la toile pour réaliser nos propres parachutes. Corsair nous a donné des plaques d'aluminium qui ont servi à la fabrication des ailerons.

Malheureusement, malgré des démarches bien engagées avec diverses entreprises, les financements récoltés n'ont pas permis d'atteindre notre objectif de financement total. L'un des soucis fut le délai de réponse des entreprises car nous devons rapidement lancer les commandes pour commencer la fabrication. Malgré quelques dons de la part de familles et associations de membres du groupe, il fut nécessaire de demander à AEROTECH et POLYAERO de subvenir à nos besoins.

Finalement, nous avons dû trouver les composants nécessaires et passer commande tout en respectant le budget qui a résulté de ces différentes subventions. Le travail final du pôle budget était donc de vérifier la cohérence des devis vis-à-vis du budget alloué au projet puis de transférer la gestion des commandes au pôle logistique.

e. Risques

Nous avons également abordé un sujet très important à prendre en compte avant de réellement débiter : l'analyse des risques.

Catégories de risques	Risque	Causes	Conséquences	Risque potentiel			Action préventive
				G	P	IPR	
Risques humains	Mauvaise utilisation 3D Experience	Manque de formation 3D Experience	Difficulté de test des matériaux en CAO	12			Demande de formation + Suivi pédagogique.
Risques techniques / scientifiques	Sous-dimensionnement des composants	Mauvaises estimations des forces subies.	Déformation / Rupture des matériaux	6			Appliquer un coefficient de sécurité à toutes les Contraintes Planète Science.
Risques techniques / scientifiques	Défaut de fabrication en Impression 3D	Mauvaise Utilisation / Buse bouchée	Pièce non conforme	8		0	Formation utilisation équipement + Contrôle avant prod.
Risques humains	Erreur d'assemblage	Mauvais process / Manque de formation.	Pièce rebuté.	8		0	Tester viabilité des procédés en amont sur éprouvette. Assurer formation de l'équipe: s'entraîner sur chutes et éprouvettes en amont.
Risques humains	Déformation carbone par rivetage.	Vibrations Pistolet multifrappe.	Déformation de la pièce.	12		0	Assurer le rivetage par C ou Crabe, le reste des fixations assurées par alésage + vis & écrou.
Risques techniques / scientifiques	Sous torquer / Sur torquer fixations	Mauvais couple de serrage.	Desserrage ou sur-matage vis.	4		0	 Définir couple de serrage nominal selon diamètre de vis. (Reprendre le MTC) + Utilisation de clé Dynamométrique.
Risques organisationnels	Manquants	Mauvaise organisation.	Journée d'arrêt.	4		0	Prevoir en avance de chaque journée de prod: Outillages + Cosomables + Pièces nécessaires.
Risques organisationnels	Condamner un tronçon sur lequel le pôle Elec doit encore intervenir.	Mauvais séquençement des opérations.	Retard de production.	4		0	Ecrire un ordre de fabrication commun: Pôles MECA + ELEC + PARACHUTE.
Risques organisationnels	Risques Organisationels du groupe.	Manque d'efficacité du groupe.	Retard + Erreurs.	6		0	Mise en place SQODAP avant chaque journée de prod.
Risques environnementaux	Risques Sécurité & Environnement	Produits polluants	Pollution	8		0	Tri et suivi des déchets dangereux
Risques techniques / scientifiques	Risques mauvaise étanchéité structure : Humidité et corrosion.	Humidité / Exposition pluie.	Corrosion.	6		0	Utilisation de Mastic en interposition des pièces + Joints et cordons en aboutages pièces.

Nous avons donc pris en compte tous les risques que nous pouvions imaginer afin d'anticiper et de faire en sorte de les éviter ou, au moins, réduire leur impact.

Ces présentations nous ont non seulement permis de faire valider le projet mais également de prendre en compte beaucoup de conseils afin de débiter le projet sur des bases solides. C'est donc dès le départ que nous avons mis en place un fichier de comptes rendus. Il est très important de prendre en compte tous les retours, qu'ils viennent des membres de l'équipe ou de tout acteur extérieur. Cela nous a permis de réaliser les actions nécessaires afin d'améliorer ou corriger nos travaux. Par la suite, chaque réunion amenait un compte rendu qui à repartir le travail. C'est un outil que nous avons fait évoluer et utilisé tout au long de l'année.

Compte rendu de réunion

30/11/2022

Personnes présentes :

BUREAU Etienne

LEMBOURG Théo

CAUCHARD Capucine

MARTINI Lucas

CHUDZICK Romain

MICHELIN Marc

DUBREUIL Augustin

NATALI Guillaume

HEMAR Erwan

SEFERAGIC Nicolas

JOLY Théo

THIERS Christopher

MORATA Florian

ATIA Romain

Présentation devant l'équipe pédagogique de POLYAERO.

Points abordés :

Planète sciences (+ propulseur).

SWOT

GANTT

Domaine de compétences.

Etude de coûts.

Travail à effectuer :

Pôle mécanique :

Pôle électronique :

Pôle logistique :

Pôle communication :

Conclusion :

-> Tests :

Étude des températures = Thermocouple.

Étude des vibrations = Accéléromètre.

Bien préciser dans quel but on fait des épreuves.

Savoir combien de G prend la fusée pour pouvoir faire un pré-test en statique.

Faire des tests en statique avec les matériaux composites pour connaître leur comportement dynamique.

Il faut tester les contraintes mécaniques mais aussi thermiques = chauffer au chalumeau pour tester l'éprouvette en statique.

-> Planète Sciences :

L'accompagnement de planète sciences est une opportunité.

Cependant, il peut également s'avérer être une menace si, par exemple, on n'obtenait pas le moteur.

Les exigences de planète sciences sont une menace vis-à-vis des contraintes temporelles imposées.

-> SWOT :

Le fait de coupler la matrice des risques aux faiblesses et aux menaces est intéressant.

Attention à la différence : SW = interne / OT = externe.

Les opportunités notées sont les forces de notre projet.

Les menaces notées sont les faiblesses.

Ancien PDG de Safran à Susteron = opportunité.

-> Étude de coûts :

Quelles sont les rentrées d'argent (recettes) ?

Qui sera sollicité ?

Plan d'action ?

Plaquette Hélios à faire.

-> Autres :

Planning à respecter = celui du projet de l'UE4 de la LP MIA A26

L'organigramme ("qui") et le planning vont dans le cahier des charges.

Mettre à jour les compétences (notamment RV, RA).

-> Rapports (à prendre en compte) :

Le cahier des charges de Killian (UE4) prime sur celui de Planète Sciences.

Dans un ppt ne pas mettre trop d'informations sur une diapositive (pas de grand tableau). Rester clair et concis pour que l'auditoire reste concentré sur ce qui est dit et pas écrit.

Il faut mobiliser des sponsors pour lever des fonds.

2. Réalisation

a. SQCDPIE

Le SQCDPIE est une méthode de gestion de la qualité utilisée dans les entreprises industrielles. Il s'agit d'un acronyme pour les différentes dimensions prises en compte :

- S pour Sécurité (Safety) : prévention des accidents et des risques pour la santé.
- Q pour Qualité (Quality) : amélioration continue de la qualité des produits ou services.
- C pour Coûts (Costs) : réduction des coûts de production pour augmenter la rentabilité.
- D pour Délais (Delivery) : optimisation des délais de production et de livraison.
- P pour Productivité (Productivity) : augmentation de l'efficacité et de la productivité des opérations.
- I pour Innovation : rechercher de nouvelles idées et technologies pour améliorer les processus.
- E pour Environnement : prise en compte des aspects environnementaux et développement durable.

L'approche SQCDPIE vise à améliorer globalement les performances de l'entreprise en prenant en compte ces différentes dimensions.

Nous avons réalisé notre SQCDPIE sur un tableau que nous avons à disposition et que nous venons compléter à la fin de chaque séance de projet technologique pour suivre notre avancement et les problèmes rencontrés ou non. Afin de garder nos données nous avons créé un Excel qui garde une trace numérique de tout ceci.

Voici un exemple de notre SQCDPIE réalisé sur Excel :



Semaine 28 <i>du 10 juillet au 16 juillet</i>							SQCDEI - Semaine n°28			
	Lundi 10/07 Mois	Mardi 11/07 Mois	Mardi 12/07 Mois	Mardi 13/07 Mois	Mardi 14/07 Mois	Mardi 15/07 Mois	Vendredi 18/07 Mois	Vendredi 19/07 Mois	Incidents	Actions réalisées
S Sécherie Rupp. Christophe	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS				
Q Qualité Rupp. Christophe	RAS	RAS	RAS	RAS	Incident	RAS			Espace de travail non rangé	Rangement des espaces et rappel des consignes
C Coûts Rupp. Liane	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS				
D Délais Rupp. Théo J.	Incident	Incident	Incident	Incident	Incident	Incident			Retard sur l'impression du trançon propulseur	Faire imprimer ce trançon part une entreprise externe
P Processus Rupp. Romain C.	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS				
E Environnement Rupp. Théo L.	RAS	RAS	RAS	RAS	Incident	RAS				
I Innovation Rupp. Romain A.	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS				

En quelques phrases nous allons décrire chaque responsabilité en fonction de notre projet.

La **sécurité** prend en compte les éléments suivants :

- Port des EPI adaptés.

Ceci permet de vérifier si toutes les personnes du projet travail en sécurité sans se mettre en danger.

- Outils rangés et servante complète

Permet de vérifier que tous les outils et outillages qui ont étai utiliser sont bien ranger et ne traîne pas sur les postes de travail.

- Reporter les incidents remarqués dans l'atelier.

Dans le cas d'un incident, de mettre en œuvre des mesure correctives.

La **qualité** prend en compte les éléments suivants :

- Respect des procédures en vigueur.

Ceci va donc principalement concerner le respect des cahiers des charges qui encadrent notre projet.

- Remonter les non-conformités aux managers.
- Respect et application du 5S.

Le 5S est une méthode d'organisation et de gestion visant à améliorer l'efficacité, la propreté et la sécurité sur le lieu de travail en se concentrant sur cinq principes : Sortir, Ranger, Nettoyer, Standardiser et Soutenir.

- Validation des documents papiers et numériques.

Nous sommes nombreux dans le groupe donc nous nous sommes rendus compte en début d'année que nous avions tendance à travailler chacun de son côté sans forcément communiquer ses travaux. Cependant, le travail d'équipe est indispensable pour atteindre un tel objectif. Ainsi, nous avons fait en sorte de plus communiquer et faire valider les travaux et une campagne de récupération des travaux a été effectuée, notamment pour la passation.

Le **Responsable Coût** prend en compte les éléments suivants :

- Suivi des dépenses.

Cela concerne la vérification des dépenses effectuées au cours du projet soit cohérente avec le budget alloué au projet et inspecter qu'il n'y est aucune dépenses non prévu ou non tracé.

- Propositions d'achat écrites en fonction des besoins.

Vérification de la concordance des devis réalisés en fonction des différents pôles.

Le **Responsable Délais** prend en compte les éléments suivants :

- Respect du planning du projet.
- Signaler les écarts avec les délais estimés.
- Délais composant manquant.

Le responsable délais est chargé de superviser et d'assurer le respect des délais de production. Cela implique de planifier les étapes de production, d'évaluer les délais nécessaires pour chaque tâche, de coordonner les activités entre les différentes équipes et de s'assurer que les objectifs de production sont atteints en respectant les échéances fixées. Le responsable délais doit également identifier les éventuels retards ou problèmes qui pourraient survenir et mettre en place des actions correctives.

Le **Personnel** prend en compte les éléments suivants :

- Le respect des horaires de travail.

Ce qui permet d'avoir un suivi sur la bonne réalisation des tâches dans un temps donné.

- La justification des absences.

Ce qui permet d'avoir un suivi sur les absences de chacun.

Le **Responsable Innovations** prend en compte les éléments suivants :

- Remonter des idées permettant d'améliorer le temps de travail / coût...
- L'emploi des nouvelles technologies 4.0.

Cela d'intégrer à notre projet de nouvelles techniques de production dans le but d'optimiser et faciliter la compréhension des processus.

Le **Responsable Environnement** s'assure que le projet dans toute son envergure respecte les critères environnementaux et les risques potentiels sur l'homme ou l'environnement.

- La vérification du nettoyage de l'espace de travail.
- La gestion des déchets.

La gestion des risques permet d'identifier et de prévenir les incidents potentiels, de protéger l'environnement et de garantir la sécurité.

Vous trouvez en plus du rapport de projet un document spécifique à la gestion des risques environnementaux.

b. Logistique

En parallèle de la phase de conception, nous avons défini les besoins matériels du projet. Une liste détaillant les composants électroniques, les éléments du parachute, bobines 3D, et autres a émergé. Hormis pour l'impression 3D qui a été prise en charge par POLYAERO, nous avons réalisé plusieurs devis puis envoyé des commandes à Aix Marseille Université.

Afin de gérer correctement nos stocks et notre budget, nous avons réalisé un tableau de suivi de commandes. Il a permis un suivi quotidien des commandes et réceptions de chaque pôle.

Tableau de suivi de commandes – électronique.

Composants	Quantité	Etat de livraison	Prix	Date de commande	Date de réception
Module BMS lipo 2S	5	Manquant	33,00 €	02/06/2023	21/06/2023
Module UBEC transo 5V	2	Reçu	10,00 €		
Minuterie programmable	1	Reçu	9,30 €		
Module de comparaison de tension	1	Reçu	14,00 €		
Fil de câblage FC25BR	10	Manquant	2,30 €	02/06/2023	
Fil de câblage FC25B	10	Manquant	2,30 €	02/06/2023	
Fil de câblage FC25V	10	Manquant	2,30 €	02/06/2023	
Fil de câblage FC25J	10	Reçu	2,30 €	02/06/2023	21/06/2023
Accu modélisme NiMH 7.2V 3Ah	2	Manquant	99,80 €	02/06/2023	
Chargeur pour modélisme 4,8 à 9,6 Vcc	2	Manquant	25,98 €	02/06/2023	
Cordon alimentation - pile 9V	2	Manquant	4,20 €	02/06/2023	
Boîte de 276 gaines FTK201	1	Manquant	25,90 €	02/06/2023	

Tableau de suivi de commandes – mécanique.

Tableau de suivi de commandes – parachute.

Cependant, des aléas concernant les commandes passées auprès de l'université nous ont finalement contraint à agir différemment de ce qui était prévu. Nous avons fait une sélection plus fine parmi ce que nous souhaitions commander, nous n'avons gardé que l'essentiel. À l'aide des subventions que nous avons obtenues, nous sommes donc passés par AEROTECH pour effectuer cette nouvelle commande.

Composants	Quantité	Etat de livraison	Prix	Quantité utilisé	Prix
PETG		Reçu			
ONYX	1600 cm3	Reçu	350,00 €	1212 cm3	265,13 €
Carbone		Reçu	230,00 €	48 cm3	

Ce suivi nous a permis d'organiser notre travail pour notre retour au mois de juin en fonction des composants reçus. En même temps, nous avons mis en place une zone de stockage pour les différents pôles, permettant ainsi la centralisation de l'ensemble du matériel.

c. Conception et montage.

Mécanique

Le rôle du pôle mécanique était de réaliser toute la conception et l'assemblage mécanique de la fusée. Étant donné que la structure accueille tous les autres systèmes, il était primordial de régulièrement se renseigner sur les besoins particuliers des autres pôles et de les prendre en compte.

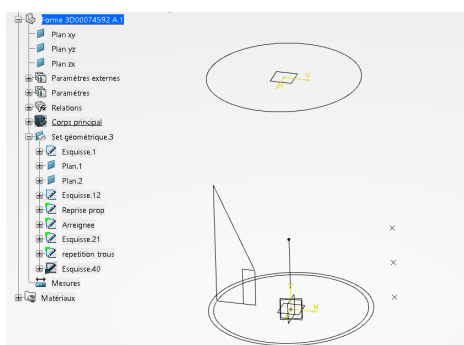
La première étape a été de s'accorder sur les différents choix technologiques, particulièrement l'impression 3D, avant de débiter la modélisation sur 3D Expérience. Concevoir la fusée en impression 3D était l'un des objectifs principaux du projet. Cependant, cela amène une contrainte. Les trois imprimantes 3D que nous avons à disposition ont un volume d'impression limité :

Imprimante	Matière	Volume maximum
Markforged	Onyx fibre de carbone	200mm
Ultimaker	Plastique (PETG)	300mm
Bigrep 1		1m ³

D'un autre côté, les tronçons de tailles limitées permettent un démontage rapide lors des tests et un remplacement rapide également en cas de casse. De plus, nous souhaitons réellement utiliser cette méthode pour d'autres raisons. La principale étant l'étude du comportement de cette matière lors du vol. Et l'impression 3D nous offrait d'autres avantages tels que la simplicité. En effet, cette méthode permet de modéliser et d'imprimer des formes complexes qui seraient très difficiles à obtenir par d'autres procédés de fabrication. Ainsi nous gagnons également du temps de montage. Enfin, cela nous a permis d'optimiser le poids de la fusée, principalement grâce à l'impression carbone-onyx qui offre une légèreté et une résistance convenables pour encaisser de gros effort. Par ailleurs, lors de la campagne de lancement au C'Space, notre fusée était très légère comparée à beaucoup d'autres pour un même propulseur (PRO-54).

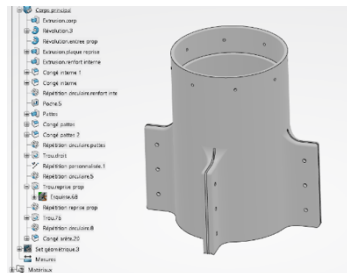
Mais avant de pouvoir passer à l'impression, la conception a été faite sur le logiciel 3D Expérience. Une méthode de conception a été mise en place afin de structurer le travail et ainsi être mieux organisés lorsque la réalisation des pièces aux formes complexes débute. Nous l'avons donc organisée selon les 3 axes suivants :

1. Les paramétrages.
2. Les sets géométriques qui représentent le squelette de la structure, donc le regroupement de tous les plans et esquisses principaux afin de les programmer pour les piloter comme on le souhaite.



3. Le corps principal où nous retrouvons toutes les formes géométriques 3D faites à partir du set géométrique afin de donner le volume à la pièce.

Ensuite, nous avons imprimé les trois tronçons qui accueillent le propulseur, les ailerons et les sangles de parachutes en carbone-onyx (imprimante Markforged) car cela nécessitait une résistance importante ainsi qu'une bonne reprise d'efforts. En effet, la reprise d'effort à partir du propulseur se faisant par le bas, les tronçons travaillant le plus en compression et en torsion sont donc les trois étages de maintien propulseur. En plus de reprendre les efforts, ces tronçons doivent également centrer et guider le propulseur via 3 bagues de centrage directement imprimées sur chaque tronçon. Il n'y a aucune structure, cadre, longeron de renfort intérieur, toutes la reprise d'effort et la rigidification de chaque tronçon se fait par des



nervures, des renforts et une armature intérieure directement imprimée dans le tronçon. Nous avons laissé un jeu fonctionnel sur la partie haute du propulseur, afin de s'assurer que notre système ne soit pas hyperstatique.

Pour des raisons financières, nous avons fait le choix d'utiliser l'imprimante Ultimaker pour imprimer le reste de la fusée (tronçon parachute, tronçon électronique, ogive, module électronique et supports internes). Nous avons estimé que le PETG était un juste milieu entre résistance, qualité et coût par rapport aux autres plastiques.

Chaque tronçon est emboîté, puis ils sont vissés les uns aux autres par un épaulement en appui plan et un emboîtement cylindrique, ce qui permet la transmission des efforts vers le haut et supprime 5 degrés de libertés. Une impression avec des tolérances relativement serrées de cet assemblage permet de réduire la flèche totale de la fusée et ainsi s'assurer du respecter du cahier des charges : Avoir une flèche totale inférieure à 1% de la hauteur de la fusée.

Seul deux pièces n'ont pas été imprimées en 3D : Les ailerons et la plaque de protection de la tuyère. En effet, après avoir pris en compte certains conseils de Planète Sciences, nous avons ajouté, sur la partie inférieure du premier tronçon propulseur, une plaque de protection en aluminium avec pour but principal de protéger thermiquement le tronçon.

Concernant les ailerons, le cahier des charges planète science nous impose un degré de flexibilité maximale sous une charge de 40kg chacun. Au vu du poids relativement peu important de la fusée (accélération et vitesse max de la fusée calculés à Mac 0.6, soit environ 750 Km/h, aux altitudes de vol prévues), les contraintes exercées par l'air sur les ailerons sont très importantes. L'impression 3D de cette pièce n'était donc pas compatible avec une épaisseur d'ailerons modérée, c'est pourquoi nous nous sommes orientés sur des ailerons en alliage d'aluminium.

À partir des calculs de finesse de la fusée et de StabTraj nous avons déterminé les dimensions minimums que chaque aileron devait respecter afin d'assurer la stabilité du vol. La découpe et l'ajustage de chaque aileron ont été réalisées à la main. Puis, ils ont été montés sur la fusée via un système de double éclisse, pour la mise en position, puis un maintien en position par vis & écrous. On pouvait ainsi garantir un démontage aisé en cas de casse ou de pli de l'un des ailerons. Lors du lancement à Tarbes, nous avons amené des ailerons supplémentaires au C-SPACE en tant que pièces de rechange.

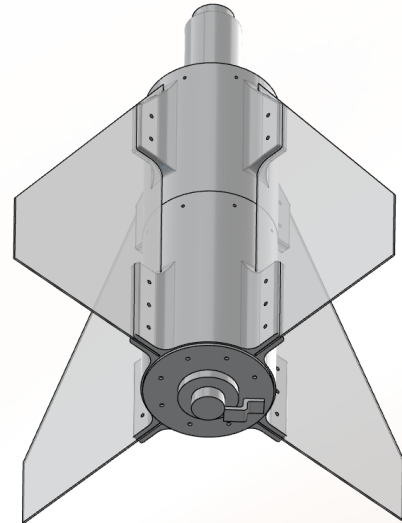
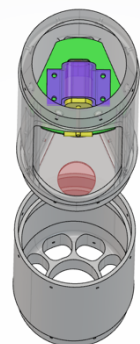


Figure 1 : Assemblage des ailerons par double éclisse.

La hauteur atteinte et l'accélération subie, dues à un très bon rapport poids/puissance ont été réellement considérables : 11G en trois secondes pour plus de 1500 mètres à l'apogée. Lors de la conception, il a donc fallu dimensionner la structure et le parachute de façon à supporter cette très forte compression au décollage.

Le très faible poids de l'impression 3D a également posé un problème, notamment lors du réglage du centre des masses de la fusée. En effet, la majeure partie du poids étant due aux ailerons en aluminium et aux renforts et plaque de protection des tronçons propulseur, dans la première configuration créée, la fusée était trop centrée arrière, autrement dit : instable. Même si ce genre de configuration peut être intéressant si l'on recherche une très grande manœuvrabilité, tel que c'est le cas sur un missile, sur notre fusée n'ayant de contrôle sur le vecteur ou sur les axes de roulis & tangage, cette configuration était un réel risque de perte de stabilité lors du décollage. Nous avons donc dû avancer le centre de gravité vers l'avant de la fusée, en rajoutant une masse de 350 grammes (ajout de matière plomb & acier) directement sous l'ogive de la fusée. Avec cette nouvelle configuration nous avons fait avancer le centre de gravité de 6 cm vers l'avant, et ainsi, bien que toujours très centré arrière, nous sommes rentrés dans la plage acceptable de centrage du cahier des charges.

Pour le bloc parachute, pour une facilité de mise en œuvre et de reprise des efforts du parachute via des suspentes reprises sur les armatures intérieures du propulseur, nous avons opté pour un système de déploiement par trappe latérale. Pour rappeler succinctement le fonctionnement du séquenceur (détaillé bien plus en détail sur la partie parachute), nous avons décidé d'opter pour une détection du top décollage, soit $T=0$ lors de l'arrachage d'un Jack monté en court-circuit détecté par un amplificateur comparateur. Par la suite une minuterie programmée à exactement 16 secondes alimente via un relais un moteur électrique muni d'un palan.



Une fois la fusée arrivée au point culminant de la parabole, à 16 secondes, le moteur déverrouille la trappe et permet ainsi au parachute de s'extraire. En termes de conception, la trappe ayant fragilisé la reprise des efforts, nous avons réalisé des renforts de part et d'autre de la trappe ainsi que deux plans imprimés à 60° permettant d'assurer la rigidité du tronçon, de maintenir en position la trappe et de guider le parachute vers l'extraction. Pour finir, afin de faciliter l'intégration de l'électronique de commande et de puissance, nous avons opté pour une architecture sous forme de modules électriques couissant sur la partie supérieure de la fusée, avec un maintien des batteries directement sous l'ogive afin de rajouter du poids en partie haute de la fusée et de faciliter l'extraction en cas de problèmes sur les batteries LIPO.

Électronique

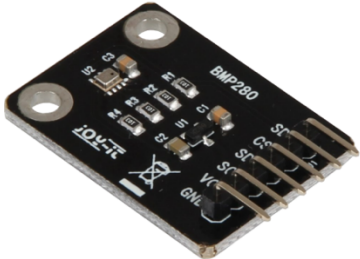
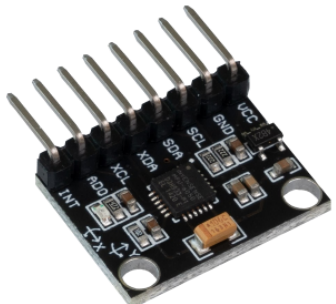
Note : Module élec = module expérience contenant les parties électriques et électroniques.

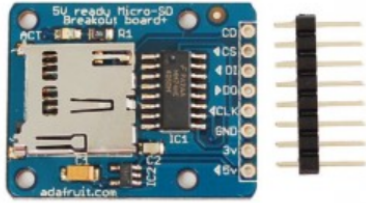
Pour commencer la conception de la partie électrique sur de bonnes bases, la première question qui s'est posée était la suivante :

« Quelles données souhaitons-nous récupérer lors du vol ? »

Après un brainstorming, nous avons décidé de mesurer les données suivantes :

- Température.
- Pression.
- Altitude.
- Accélérations sur les 3 axes.
- Évolutions sur les 3 axes.

Composant	Description	Avantages
BMP 280		Cumule température, pression et altitude.
MPU 6050		Récupère des données gyroscopiques et l'accélération sur les 3 axes.

Micro-SD ADA254		Stock les données.	Permet d'écrire plus de 9 variables dans une carte SD de 8GB.
--------------------	---	--------------------	---

Suite au choix des composants, et à partir des données fabricants sur le fonctionnement/raccordement des composants, nous avons pu établir des schémas de principe et de fonctionnement. Ces schémas ont pour but de permettre à toute personne de pouvoir assembler ou changer les éléments du circuit élec en cas de panne ou de casse. Dans le cadre du cahier des charges de Planète Sciences, et afin de pouvoir lancer la fusée, il a été nécessaire de présenter ce genre de documents également. Côté POLYAÉRO, les schémas serviront pour les cartes de travail digitalisées et pour les groupes à venir.

Ces parties d'analyse des composants et de réalisation des plans ont pris environ 4 heures de travail : 2 heures d'analyse de composants, et 2 heures de réalisation de plans. Dans notre cas, les plans ont été refaits deux fois afin de les clarifier au maximum. Le rendu final permet de remettre en fonctionnement la carte électronique.

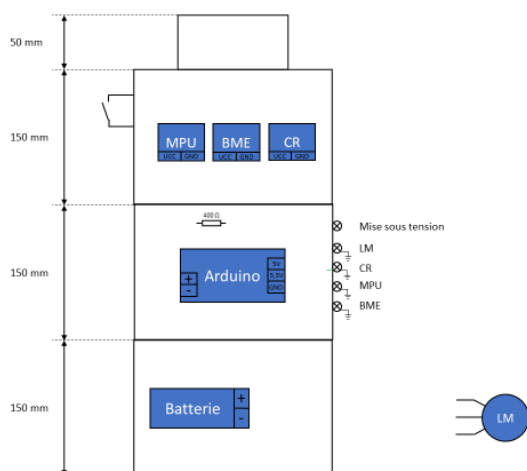


Schéma d'implantation

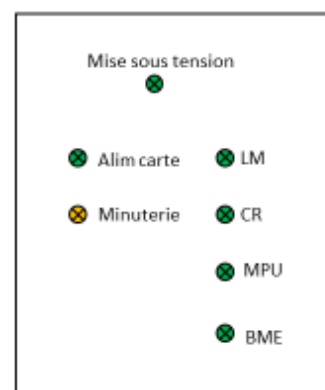


Schéma d'implantation des LEDs

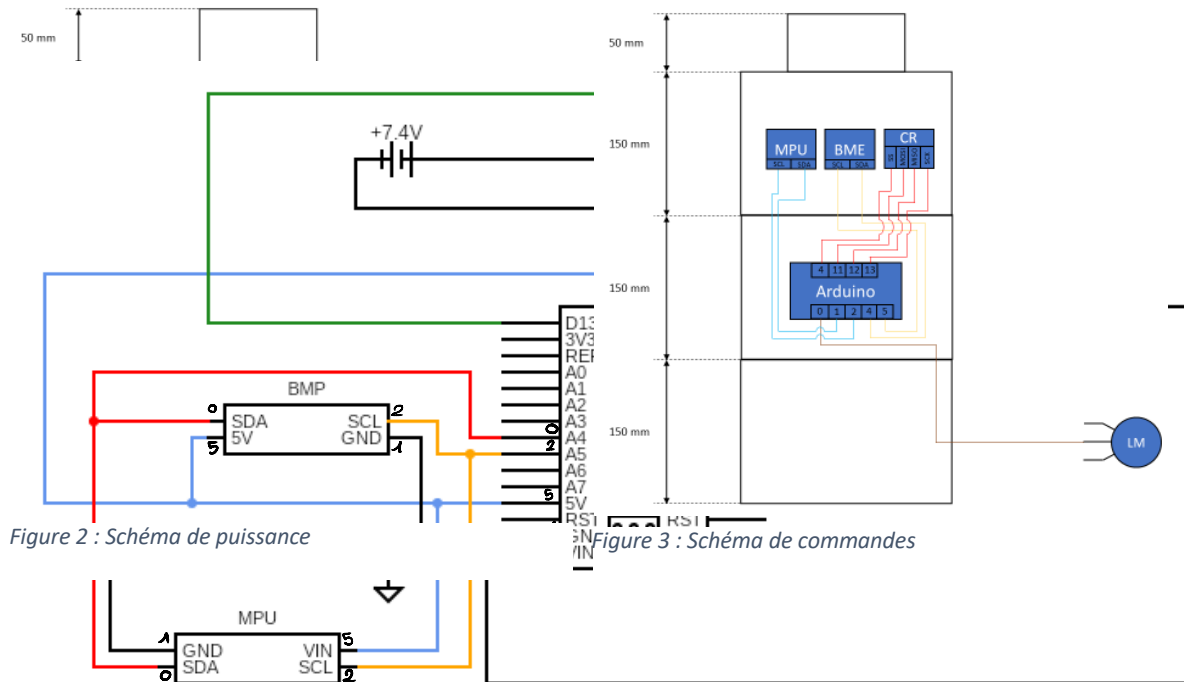


Schéma fonctionnel

Une fois cette partie réalisée, le prochain point à aborder est le choix des batteries et la programmation. Les batteries ont été choisies selon leur sûreté d'utilisation, leur encombrement et leur autonomie. Dans un premier temps, nous nous sommes orientés vers des batteries NiMH (3 batteries, dont 2 pour le séquenceur et une pour l'Arduino). Mais elles nous paraissaient trop encombrantes et trop lourdes. Nous avons donc opté pour des batteries LiPO, comme celles employées pour les drones ou l'aéromodélisme. Elles ont pour principaux atouts, leur légèreté et leur encombrement minime. En revanche, ce type de batterie nécessite un chargeur adapté et une recharge externe. Il faudra donc les réinstaller à chaque essai. Finalement, nous avons donc intégré à notre schéma 3 batteries LiPO de 7.4V.

La partie programmation a été tardive en raison du temps de réception des commandes. N'ayant pas reçu les commandes faites par POLYAÉRO, nous avons décidé de commander par nos propres moyens. Après la réception du matériel en début juin, le travail de programmation a pu débuter. Il a été nécessaire de réaliser la programmation de chaque composant afin de compiler les données sur la carte SD. Les données ayant des sources différentes, et des fonctionnements différents, la tâche n'a pas été aisée. En parallèle, nous avons développé un fichier d'extraction Excel et une macro VBA pour synthétiser les données récupérées en vol et créer automatiquement les graphiques correspondants sur un document Word.

Une fois les commandes reçues, nous nous sommes également focalisés sur l'intégration des capteurs et la mise en place physique des composants et du câblage électrique. Pour ceci, le

pôle élec et le pôle mécanique ont collaboré pour concevoir les supports. Les composants ont ensuite été collés à ce support et les capteurs mis en place, puis, dans un dernier temps, les câblages ont été réalisés.

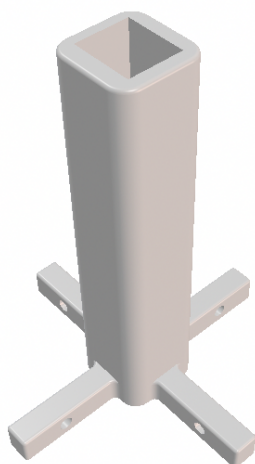


Figure 2 : Support batterie.

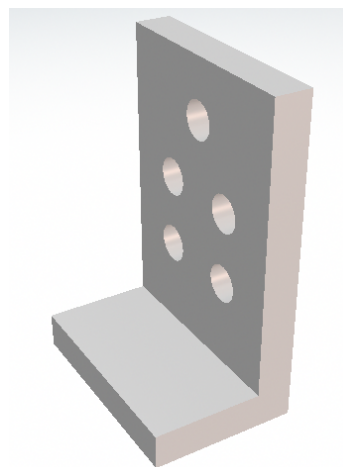


Figure 3 : Support LED.

Parachute

L'objectif du pôle parachute est de concevoir, réaliser et mettre en œuvre un système de récupération de la fusex comprenant le parachute et son électronique. Le cahier des charges de Planète Sciences est très exigeant concernant la partie parachute car c'est un élément critique du projet. Le processus de création a, comme les autres, débuté par une étude des différentes solutions possibles. Une fois les options évaluées, nous avons procédé à l'adaptation des dimensions du parachute grâce à la CAO.

Le premier choix effectué fut la forme du parachute. Nous avons fait une étude comparative des différents types de parachutes et de leurs avantages respectifs. Finalement, nous avons choisi de fabriquer un parachute cruciforme notamment pour sa facilité de fabrication et de modification.

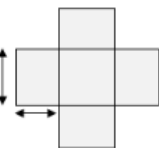




	Cruciforme	Banderole	Hémisphérique / Rond	Parapente
Avantages	- Fabrication simple - Pliage simplifié - Quantités de tissus - Rajout possible	- Compact - Robuste	- Ratio taille/vitesse - Nombre de suspente élevé - Pliage	- Possibilité de manœuvrabilité - Ratio taille/vitesse - Nombre de suspente élevé
Inconvénients	- Nombres minime de suspente - Fragilité	- Fabrication complexe - Ratio taille/vitesse - Pliage - Quantité de tissus	- Fabrication complexe - Oscillement	- Fabrication compliqué - Pliage

En ce qui concerne les suspentes et résistances, les calculs ont été faits à l'aide du logiciel Stabtraj. Cela a permis de visualiser les efforts théoriques engendrés sur toute la chaîne parachute. Les calculs de dimensionnement ont été faits sur la base d'une fusée de masse égale à 10Kg avant décollage et 9Kg une fois le propulseur vide. Le cahier des charges impose une vitesse de descente comprise entre 5 et 15m/s, nous avons donc choisi de fixer nos calculs à 12m/s. Le but était d'avoir une descente à la fois rapide et « douce » pour que le vent n'emporte pas la fusée au loin.

Extrait données Stabtraj partie parachute de la futur fusée Hélios

Masse fusée propulseur vide en gramme	Surface parachute en m² pour descente à 12m/s	Efforts générés au point d'attache de la sangle	Dimensions toile parachute en m² 	Nombre de suspentes max	Effort par suspente sachant que 75% des suspente serviront (selon cahier des charges Planète Science) 6 suspente serviront uniquement	Temporisation pour ouverture (1s avant arriver apogée)
6000	0,68 m²	380 N	420 x 300 mm	8	64 N	15,8 s
6500	0,73 m²	427 N	400 x 370 mm	8	72 N	15,9 s
7000	0,79 m²	495 N	520 x 250 mm	8	83 N	15,8 s
7500	0,84 m²	540 N	420 x 400 mm	8	90 N	15,7 s
8000	0,89 m²	594 N	520 x 300mm	8	99 N	15,6 s
8500	0,95 m²	648 N	560 x 370 mm	8	108 N	15,4 s
9000	2,50m²	1660 N	820 x 550 mm	8	280 N	15,6 s
10 000 6m/s	4,50 m²	1900 N	1020 x 850	8	316 N	15,7s

Nous avons appliqué aux résultats un coefficient de sécurité de 1,8 (déjà appliqué dans le tableau). Ce coefficient a été déterminé selon les facteurs de charge des élingues de levage. Une élingue de levage nouée à son bout supporte 0,8 fois sa charge maximale. L'ensemble du système parachute devait résister à une force totale théorique de 1900N soit environ 190Kg. Cela fait pour chaque suspente un effort théorique de 316N soit environ 32Kg.

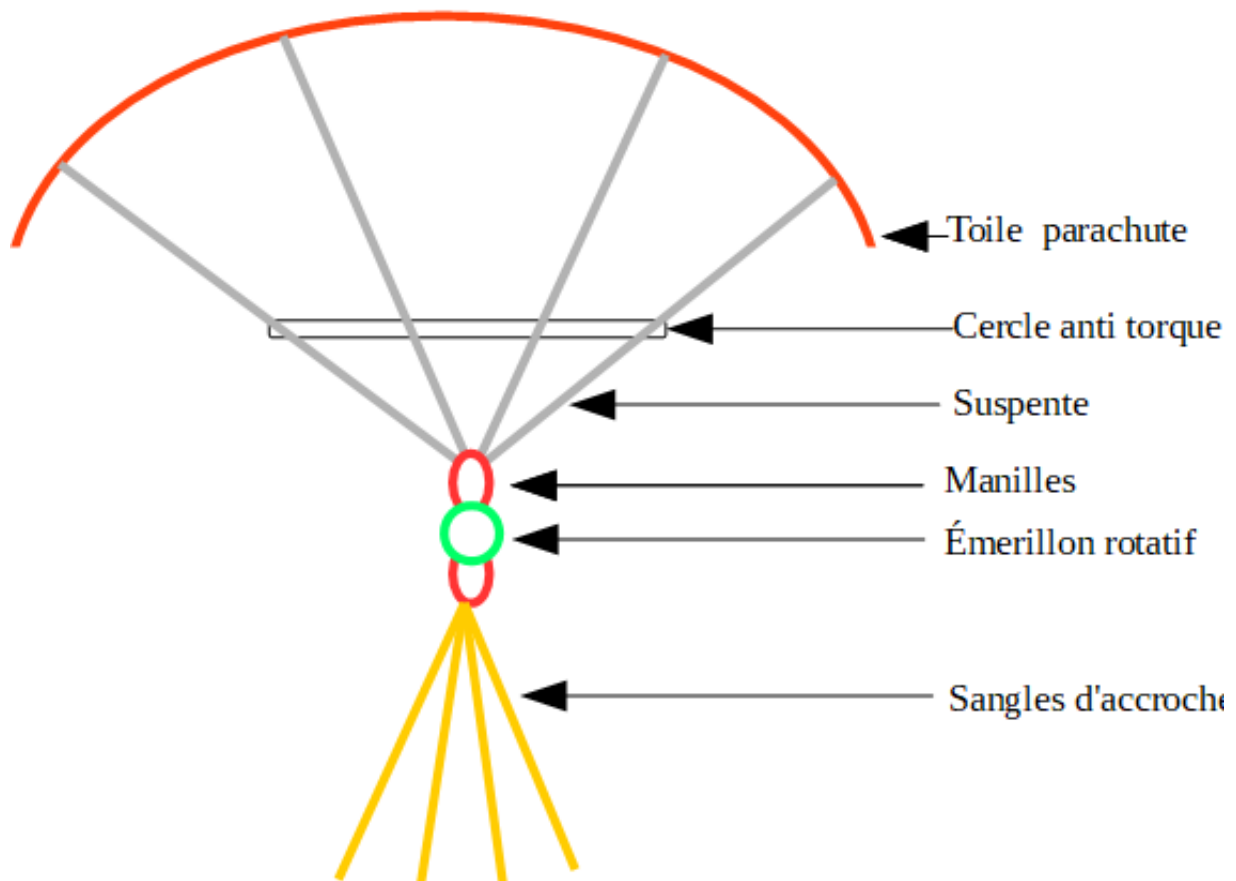
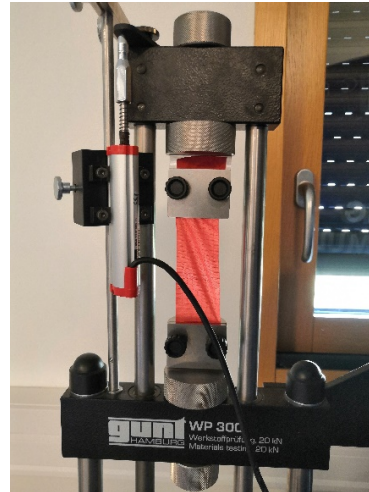
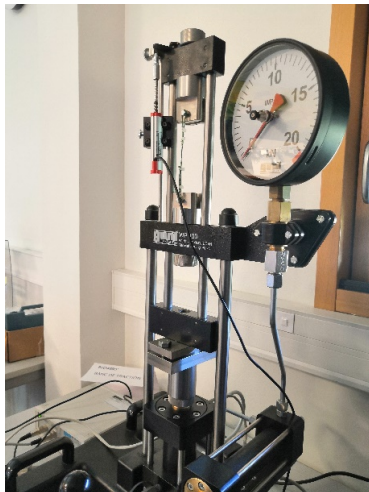


Schéma de la chaîne parachute composée de la toile, 8 suspentes, un émerillon rotatif et d'un cercle anti-torque (pour empêcher les suspentes de s'emmêler).

Nous avons commandé et réceptionné la mercerie nécessaire aux renforts et à la création des boucles d'attache des suspentes. Les suspentes et la toile du parapente qui nous ont été offerts ont été réutilisés. Les sangles permettant de relier le parachute à la fusée qui ont été achetées à part peuvent résister à une température de 200°C (70°C autour du propulseur). Nous avons ensuite réalisé l'ensemble de la chaîne parachute, de la couture à l'implantation finale.

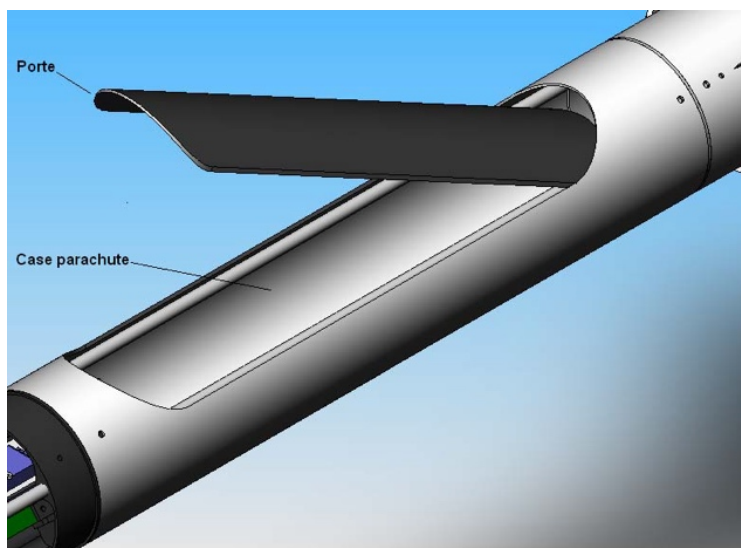
Enfin, nous nous sommes servis d'un banc de traction pour nous assurer que les suspentes et la toile avaient la résistance requise :

Résistance suspente parapente avec couture des boucles.	1100N (≈110Kg)
Résistance des sangles hautes température.	2000N (≈200Kg) au niveau des fixations araignée moteur 70°C
Résistance toile parapente.	350N (≈35Kg)



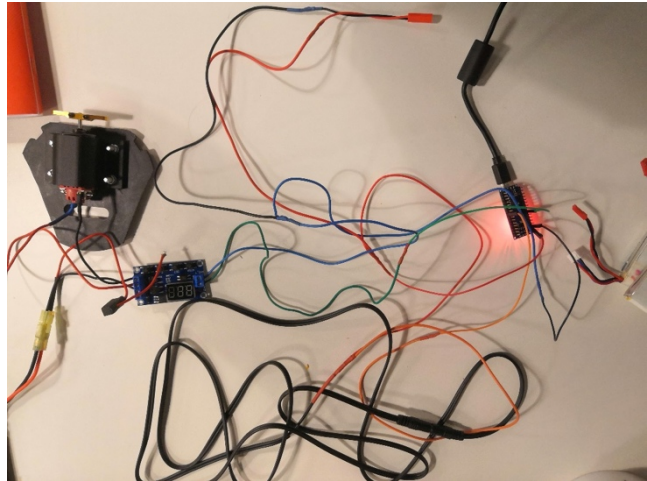
Les tests ont donc confirmé que les résistances sont au-delà des besoins minimums, cette partie est donc validée.

Pour ce qui est du système d'ouverture, voici comment il fonctionne :



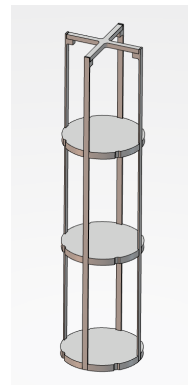
La trappe parachute est maintenue par un système de « locker ». Le moteur d'ouverture, muni de son palonnier, permet le verrouillage et l'ouverture de la trappe assistée d'un ressort. La fonction d'ouverture du palonnier se fait par un servomoteur de 30g avec un couple de 15Kg. Le ressort, quant à lui, permet l'éjection franche de la porte entraînant avec elle les suspentes puis le parachute hors du tronçon.

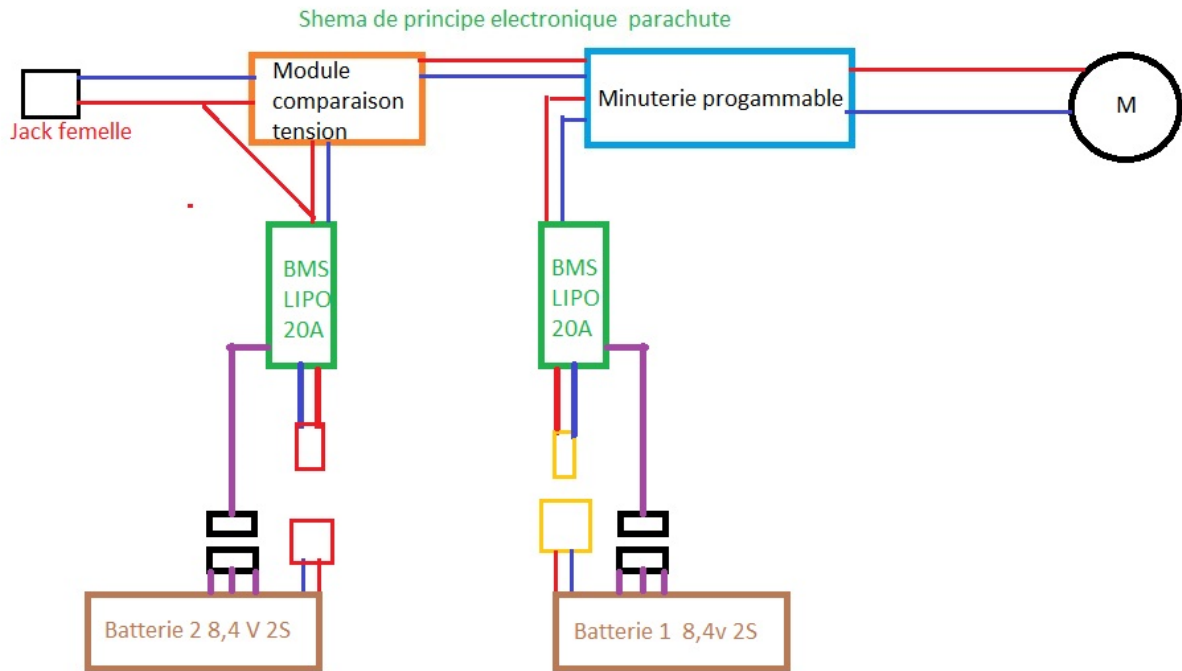
L'ouverture de la trappe parachute s'effectue selon le séquenceur-minuteur d'une carte Arduino nano. Celui-ci se met en route lorsqu'un câble jack est arraché au décollage de la fusée. Un circuit de comparaison de tension est alors ouvert et détecte donc le décollage.



Cependant, le séquenceur-minuteur Arduino n'a, finalement, pas été la solution choisie. En effet, cela semblait être bon mais nous n'avons pas su rendre ce système fiable à 100%. Par conséquent, nous nous sommes plutôt orientés vers des modules indépendants qui permettent, une fois combinés, d'effectuer le décompte et l'ouverture du parachute. Ces modules (une minuterie programmable et un module de comparaison de tension) ont permis de rendre l'électronique parachute beaucoup plus sûre et 100 % fiable. De plus, lors des tests, le servo-moteur ne semblait pas être la meilleure solution. En effet celui-ci semblait avoir du mal à ouvrir la porte en raison des forces exercées par l'air extérieur (environ 2kg). Nous avons donc opté pour le remplacement de celui-ci par un moteur de Airsoft pouvant délivrer un couple de 30 Kg à voltage égal. Les essais effectués par la suite étaient par ailleurs plus concluants.

Compte tenu de la place très limitée et par soucis d'encombrement, seul le moteur d'ouverture de la trappe a pu être logé dans le tronçon parachute. Le moteur est fixé sur une platine qui est elle-même maintenue emboîtée et vissée dans le tronçon parachute. Le reste des composants électroniques (minuteur et comparateur de tension) a donc été implanté dans l'étage inférieur du rack électrique. La longueur des câbles est par ailleurs doublée, permettant ainsi la libre sortie et entrée de tout le rack électrique. Les batteries sont quant à elles placées avec celles des expériences électroniques à l'étage supérieur du rack électrique. Cela permet ainsi, une fois le rack électrique en place, leur insertion, connexion et déconnexion depuis l'ogive.





d. Intégration des nouvelles technologies.

Nous disposons au sein de l'établissement d'un certain nombre de nouvelles technologies (aussi appelées technologies 4.0). Il fut donc très intéressant de se servir de ces outils autant que possible.

Dans un premier temps, comme expliqué plus tôt, nous nous sommes servis de l'imprimante 3D. En effet, ce fut le principe même de notre projet que de réaliser l'ensemble de la structure et autres pièces et supports nécessaires ainsi.

Nous avons également décidé d'utiliser la réalité mixte afin de créer des cartes de travail holographiques. Pour ceci, nous avons commencé par suivre la formation nécessaire et nous mettre d'accord sur la façon dont nous allions structurer ces cartes. Nous avons finalement décidé de faire 3 cartes de travail différentes :

- Réparation
- Montage
- Mise en œuvre

Les cartes ont ensuite été rédigées et organisées sur le logiciel GUIDES 365. À terme, elles doivent nous permettre à nous ainsi qu'aux promotions suivantes de réaliser les différentes opérations de fabrication et de maintenance en ayant une visualisation précise des étapes au travers des casques Hololens.

Dans le cadre de l'implantation de la réalité virtuelle au sein du projet nous avons décidé de créer une simulation de vol animé reproduisant le vol réel visualisable via le CAVE. Nous avons également implanté à la simulation une fusée à taille réelle démontable intégralement afin visualiser son montage et ses composants.

Enfin, nous avons créé une réplique de la fusée à l'échelle 1/5 afin d'étudier son comportement en soufflerie.

Il avait également été décidé à la suite du lancement de la fusée de réaliser un Scan 3D. L'objectif est de le comparer avec nos fichiers 3DExpérience afin de comparer l'état de la fusée avant et après son vol. En étudiant notamment les éventuelles déformations de la structure survenues lors du vol. Malheureusement, la récupération de la fusée ne s'étant pas passée comme prévu, nous n'avons finalement pas pu utiliser cet outil.

3. Contrôle

La partie contrôle dans un projet est cruciale pour atteindre ses objectifs. Il faut toujours s'assurer que le travail produit correspond à ce qui est attendu (le prescrit : cahiers des charges de POLYAERO et de Planète Sciences) et que concrètement, il soit acceptable (réel). Cet aspect du projet qui s'apparente à la partie « Do » de la roue de Deming ne va pas sans la partie « Act ». En effet, il est presque impossible que tous les aspects d'un projet soient parfaits dès le premier essai, des corrections devront donc être effectués.

À chaque étape de la conception de la fusée, nous avons testé les éléments. Il est impératif de contrôler, par exemple, que chaque pièce mécanique a la bonne résistance, qu'elle s'emboîte bien avec la suivante, etc. Il faut également s'assurer que les éléments du parachute résistent aux charges appliquées. De même pour toute la partie électronique, nous nous sommes toujours assurés que tout fonctionnait parfaitement et était bien fixé.

Au cours de l'année, tous les groupes inscrits à Planète Sciences ont été conviés à des Rencontres des Clubs Espace (RCE). Ces réunions ont deux objectifs principaux : informer et contrôler.

- RCE1 (22/10/2022) = Explication des attendus du cahier des charges de Planète Sciences. Explication du déroulement à suivre afin de pouvoir faire voler une fusée. Aide technique pour les projets qui ont débuté et orientation des différents projets.
- RCE2 (05/02/2023) = Vérification de l'avancement des projets et de la concordance avec le cahier des charges. Présentation de la conceptions 3D finalisée pour validation.
- RCE3 (10/06/2023) = Validation du système de déclenchement du parachute. L'obtention du propulseur dépendait de la validation lors de cette réunion.

Les contrôles que nous avons effectués nous-même au sein de POLYAERO comme avec C'Space aux RCE nous ont donc permis de relever les points faibles de notre projet. Comme avec le parachute. Lors des premiers tests (lancement de charges minimales -entre 200g et 2Kg- accrochées au parachute, nous avons constaté que la vitesse de chute était bien trop rapide pour un objet pourtant bien moins lourd que la fusée (estimée à 9Kg). Des calculs avaient pourtant été effectués en se basant sur les critères donnés dans le cahier des charges de Planète Sciences. Les calculs ont donc été refaits et un nouveau parachute a alors été cousu.

Finalement, du 18 au 20 juillet lors du déplacement à Tarbes dans le cadre du lancement de la fusée, les tests finaux ont eu lieu. Notre autorisation pour lancer la fusée dépendait entièrement des résultats de la batterie de tests effectués durant ce laps de temps. Par conséquent, la pression était maximale pour l'ensemble du groupe. Malheureusement, seul 5 membres du projet ont pu se rendre à la campagne de lancement. Nous nous sommes donc tous accordés pour envoyer les responsables de chaque pôle afin de s'assurer que tous les aspects pourraient être gérés une fois sur place.

IV. Clôture

1. Retour d'expérience suite au lancement

➔ Premier jour

Afin de lancer notre fusex, notre groupe s'est rendu à Tarbes du 18 au 21 Juillet pour participer au C'Space. C'est un événement national dédié aux fusées, organisé par le CNES et Planète Sciences, il permet aux projets étudiants de pouvoir lancer leurs fusées.

Une fois arrivé au C'Space et après avoir passé la phase administrative, nous avons monté la totalité de la fusée avec les bons couples de serrage puis nous sommes allés au premier contrôle. Ce premier contrôle avait pour but d'expliquer tous les plans que nous avons pu réaliser tout au long de l'année (Elec, Meca, Parachute, Com, Ecole...). Suite à ce premier contrôle, plusieurs problèmes et questions se sont présentés à nous :

- La raison pour laquelle nous avons fait une fusée et notre expérience.
- La porte de la trappe.
- Le câblage de la partie élec (rajout d'un câble jack pour lancée la prise de donnée par les capteurs).
- Cran de sécurité.
- Sangles du parachute trop long.
- Mauvais centrage de la fusex.

Nous avons également pu récupérer certaines données concernant la fusex :

- Pesée de la fusex : 5,72 kg sans le propulseur.
- Mesure de la fusée : 1472 mm.

Une fois ce contrôle terminé, nous avons dû nous atteler à régler les problèmes relevés ci-dessus.

Pour la partie élec, nous avons donc dû rajouter le codage du câble Jack ainsi qu'une fonction minuterie. Ceci, afin d'optimiser la récupération des données en ajoutant un arrêt du programme au bout d'une heure. Pour le faire nous avons reçu l'aide de Laure-lyne, une bénévole de Planet Sciences.

Concernant la partie parachute, nous avons dû retoucher les dimensions car celui-ci était trop grand. De même pour les sangles dont la longueur a donc été réajustée. Le moteur du parachute n'était pas installé, nous l'avons donc mis en place en nous assurant que la trappe

soit correctement positionnée. Nous avons également vérifié la partie électricité du parachute afin de nous assurer qu'elle soit correcte.

Ensuite, pour la partie, il a fallu faire en sorte que la porte du parachute soit bien homogène avec la fusée, et refaire une vérification de tous les couples de serrages. Nous avons également dû retravailler sur la masse et centrage de la fusée, pour cela nous avons rajouté un écrou en haut du module élec afin de régler ce problème.

Enfin, concernant la partie communication, nous nous sommes occupés de prendre des photos et vidéo afin d'alimenter nos réseaux sociaux.

➔ Deuxième jour

Pour cette seconde journée, nous avons quatre contrôles à effectuer.

Le premier contrôle consistait à vérifier toute la partie Mécanique :

- Test de flèche statiques et dynamiques.
- Centrage.
- Résistances des Ailerons.
- Compressions.
- Résistance en traction.

Ce contrôle a été concluant et nous a permis de nous atteler aux autres parties de la fusée.

Durant le second contrôle, un problème est apparu au niveau de la trappe du parachute qui était en fait trop petite pour pouvoir l'accueillir. Nous avons donc continué de travailler sur ce point. Nous avons pu finir le parachute avant d'aller au troisième contrôle afin de le tester. Pendant ce temps il nous a fallu continuer de travailler sur la finalisation du programme élec dans le but de récupérer les différentes données et de les analyser après le vol.

Le troisième contrôle, lui, s'est clôturé sur un échec concernant le test de sortie du parachute, celui-ci était trop grand et ne sortait pas de la trappe. Une fois ce troisième test passé, il nous restait donc plusieurs modifications à effectuer. Nous nous sommes alors directement mis au travail pour réussir à finir le parachute et le programme élec. Pendant ce temps, nous avons également mis en place la partie chronologie pour le jour du lancement.

Le quatrième et dernier contrôle de la journée nous a permis de tester à nouveau la sortie du parachute. Cette fois le test s'est déroulé de façon optimale, et a permis de valider la partie parachute grâce aux tests suivant :

- Test de traction du parachute.
- Test de poids.
- Test de trappe.

Par manque de temps, nous n'avons pas pu faire la simulation de vol, nous avons donc décidé d'avancer la chronologie et la checklist ainsi que de réunir tous les outils dont nous aurions besoin lorsque nous serions devant la rampe. Il nous restait alors encore à nous occuper du programme élec et de l'amélioration parachute.

➔ Troisième jour

Ce dernier jour, nous avons fait la simulation de vol. Cela consiste à avoir fait toute la checklist en amont au niveau du la fusex, puis d'aller en simulation de vol avec un responsable du CNES et un responsable Planet Sciences. Une fois arrivés nous avons fait toute la chronologie du vol, qui s'est bien déroulée jusqu'au moment de l'ouverture du parachute. Malheureusement, celui-ci ne s'est pas ouvert, mais après plusieurs essais, la simulation de vol a été un succès.

Nous étions alors qualifiés et autorisés au lancement de notre fusex. Ainsi, nous nous sommes rendus sur la zone ZAS afin de préparer notre fusex avant d'arriver en zone de lancement. Une fois sur place, nous avons déroulé toute la chronologie préparée lors de la simulation de vol en prenant en compte les quelques modifications indiquées par le responsable du CNES. Dès que la fusex était prête et en place sur rampe de lancement, notre chef de projet a eu l'honneur de pouvoir appuyer sur le bouton de lancement.

Malgré un vol balistique, le travail fournis par le groupe est exceptionnel et nous sommes fiers de tout le projet Hélios !

2. Développement des études (non) menées

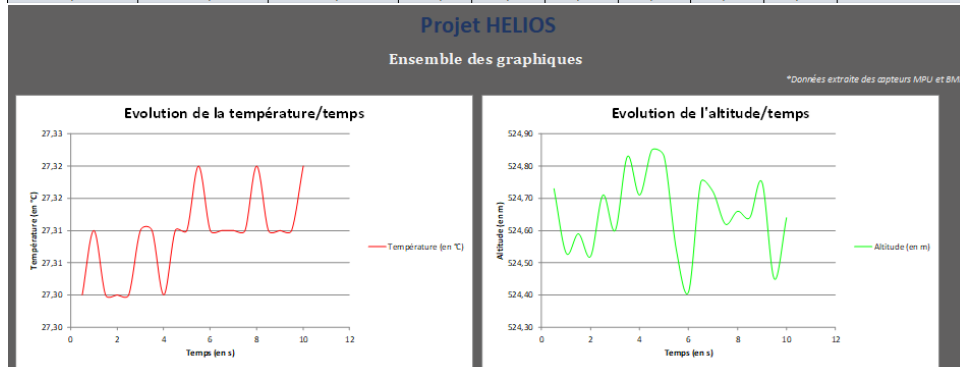
Afin de compiler les données relevées par les différents capteurs de la fusée, nous avons mis en place un fichier Excel qui permet d'extraire automatiquement à l'aide de plusieurs macro VBA les données qui se trouvent dans un fichier texte. Ce logiciel a pour but de créer un compte rendu contenant toutes les valeurs enregistrées (température, pression, altitude, gyroscope, accéléromètre) durant le vol afin de pouvoir les exploiter rapidement et de faciliter le traitement de ces données.

Pour cela, il suffit de placer le fichier texte qui contient les données dans le dossier racine où se trouve le fichier Excel. Lorsqu'on lance l'extraction de données, cela permet de créer deux pages :

- Une page qui compile toutes les données extraites
- Une page contenant tous les graphiques



Température (en °C)	Pressure (en hPa)	Altitude (en m)	Accélération			Gyroscope			Temps (en s)
			x	y	z	x	y	z	
27,30	951,79	524,73	65,21	64,97	2,14	0,47	0,67	1,55	0,5
27,31	951,81	524,53	65,21	66,19	2,14	0,47	0,67	1,55	1
27,30	951,81	524,59	65,21	67,42	2,14	0,47	0,67	1,55	1,5
27,30	951,82	524,52	65,21	68,65	2,14	0,47	0,67	1,55	2
27,30	951,79	524,71	65,21	61,29	2,14	0,47	0,67	1,55	2,5
27,31	951,81	524,60	65,21	63,74	2,14	0,47	0,67	1,55	3
27,31	951,78	524,83	65,21	61,29	2,14	0,47	0,67	1,55	3,5
27,30	951,79	524,71	65,21	60,07	2,14	0,47	0,67	1,55	4
27,31	951,78	524,85	65,21	67,42	2,14	0,47	0,67	1,55	4,5
27,31	951,78	524,83	65,21	60,07	2,14	0,47	0,67	1,55	5
27,32	951,81	524,54	65,21	64,97	2,14	0,47	0,67	1,55	5,5
27,31	951,83	524,41	65,21	67,42	2,14	0,47	0,67	1,55	6
27,31	951,79	524,75	65,21	64,97	2,14	0,47	0,67	1,55	6,5
27,31	951,79	524,72	65,21	58,84	2,14	0,47	0,67	1,55	7
27,31	951,8	524,62	65,21	63,74	2,14	0,47	0,67	1,55	7,5
27,32	951,8	524,66	65,21	58,84	2,14	0,47	0,67	1,55	8
27,31	951,8	524,64	65,21	58,84	2,14	0,47	0,67	1,55	8,5
27,31	951,79	524,75	65,21	63,74	2,14	0,47	0,67	1,55	9
27,31	951,82	524,45	65,21	66,19	2,14	0,47	0,67	1,55	9,5
27,32	951,8	524,64	-154,45	66,19	2,14	0,47	0,67	1,55	10



Une fois les données compilées dans le fichier, une seconde macro permet de créer un compte rendu Word.

3. Satisfaction du groupe

Après le décollage de notre fusex, chaque membre du groupe a rempli une fiche d'enquête de satisfaction (voir annexe x). Nous avons défini certains critères à juger sur une échelle allant de 1 à 5 et laissé un espace commentaires afin que chacun ait l'occasion de s'exprimer librement.

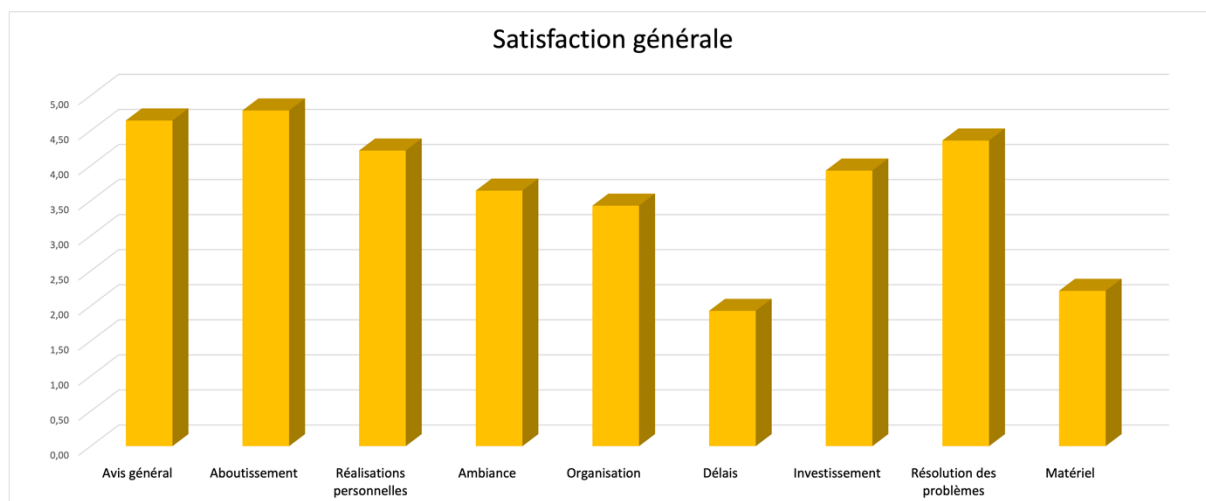


Figure 4 : Moyenne des critères de satisfaction au sein du groupe.

Dans l'ensemble, on retrouve une bonne homogénéité dans les points attribués à chaque critère. Tout le monde s'accorde pour dire que de façon globale, le projet était excellent et qu'il a atteint son objectif. En effet, même si nous n'avons pas pu récupérer les données pour étude, voir notre fusex décoller était pour nous le moment fort du projet. Les critères pour lesquels les valeurs varient le plus sont l'ambiance et l'organisation. Ceci est dû au démarrage difficile qu'a eu notre groupe principalement dus au manque de communication.

« L'aventure Hélios a été un projet parti d'une simple idée qui à force de travail et de persévérance nous aura tous permis de tendre la main et de caresser les étoiles. »

- Marc MICHELIN -

Deux critères ont reçu des notes particulièrement basses par rapport à la moyenne : Délais et matériel. En effet, en ce qui concerne les délais, nous avons toujours été dangereusement proches de la limite. Les causes sont d'une part, que nous avons réalisé en tout juste 6 mois un travail gargantuesque que les autres groupes inscrits au C'Space ont effectué en 2 à 4 ans. D'autre part, que les heures dédiées au projet étaient assez mal adaptées pour nous. Il nous aurait fallu une répartition plus égale sur l'ensemble de l'année et de préférence des créneaux de 4h à ceux de 2h. Cela nous aurait certainement évité les nombreuses heures de travail nocturnes à domicile qui nous ont offert un cadre moins adapté. Pour ce qui est du matériel, les délais liés aux commandes étant trop importants nous avons dû faire avec nos propres moyens. Sans cette initiative, nous n'aurions pas pu réaliser le projet car à l'heure actuelle nous n'avons toujours rien reçu.

« Ayant déjà réalisé des projets d'études au sein d'anciennes formations, ce projet s'avère être le meilleur auquel j'ai pu participer. »

- Romain ATIA -

Enfin, les commentaires laissés en bas de page laissent transparaître la complicité qui s'est installée au travers de mots pleins de bienveillance adressés aux autres. Malgré des débuts difficiles, la majorité des remarques relèvent l'importance qu'a eu l'implication de chacun pour la réalisation de ce projet. Un léger sentiment de frustration se fait sentir car nous n'avons pas pu porter le projet tous ensemble jusqu'au lieu de décollage. Mais cela n'enlève rien à la fierté que nous ressentons tous après un tel accomplissement. Qu'importe les notes attribuées, tout le monde s'accorde pour dire que si nous pouvions revenir dans le passé, nous choisirions sans hésitation ce même projet.

« Si c'était à refaire, je ne changerais (presque) rien. »
- Théo JOLY et Romain CHUDZIK -

4. Conclusion

Ce projet a été pour l'ensemble des membres du groupe, une expérience tout simplement extraordinaire. D'un point de vue technique, ce fut l'occasion pour chacun d'entre nous d'acquérir ou de développer nos compétences, que ce soit dans des domaines généraux (Mécanique, Electrique, Parachute, Communication, etc...) ou encore des domaines où l'ensemble du groupe n'avait pas ou peu de compétence (Technologie 4.0).

	Communication	Organisation	Excel, Word, Gantt	Règlementation	Maîtrise STABTRAJ	3D expérience	Outils 4.0 (RV, RA)	Mécanique	ROM	Montage photo/vidéo	Electronique	Informatique
NOM												
Romain CHUDZIK	4	4	3	2	5	4	3	4	4	1	1	0
Marc MICHELIN	4	4	2	3	4	2	1	4	4	0	4	2
Guillaume NATALI	4	3	3	2	1	2	2	3	3	2	3	3
Florian MORATA	4	4	2	3	5	1	1	3	4	1	3	2
Nicolas SEFERAGIC	4	3	2	2	0	2	1	3	2	4	3	3
Etienne BUREAU	3	2	2	2	1	2	2	2	1	4	2	3
Christopher THIERS	4	3	4	3	1	2	3	2	1	3	4	3
Erwan HEMAR	4	4	2	4	3	1	2	2	2	4	3	4
Romain ATIA	2	3	2	0	0	4	1	4	3	1	1	3
Capucine CAUCHARD	4	4	4	2	0	2	2	1	1	2	1	3
Lucas MARTINI	4	3	2	3	1	2	3	2	2	2	2	3
Theo JOLY	3	3	4	2	1	1	1	2	2	2	3	4
Augustin DUBREUIL	4	3	4	3	0	2	3	4	3	4	3	2
Theo LEMBOURG	4	3	4	4	1	3	3	3	3	0	3	2
Moyenne	4	3	3	3	2	2	3	4	2	2	3	3
Maximum	4	4	4	4	5	4	3	4	4	4	4	4

Figure 5 : Tableau des compétences mis à jour.

Pour le côté humain de ce projet, nous avons pu travailler en synergie avec l'ensemble des membres du groupe tout en réglant les divergences d'opinion de chacun, cela nous a appris à gérer l'organisation sur un projet comptant 14 membres. La gestion de la partie économique fut très formatrice car nous avons dû gérer les finances d'un projet de grande ampleur, nous avons également dû développer nos compétences en matière de recherche de sponsors afin de pouvoir subvenir à nos besoins. D'un point de vue organisationnel, cela n'a pas toujours

était simple de gérer l'organisation d'un projet comprenant 14 membres. Mais à force de persévérance, nous avons pu mener à bien le lancement de notre fusex, grâce à la mise en place d'une organisation qui a su évoluer et s'adapter au cours de l'année. Pour la partie communication, ce projet nous a permis rechercher et de mettre en œuvre les meilleurs moyens afin de donner de la visibilité via les réseaux sociaux. Ce projet nous a également permis de gérer la communication interne au sein du groupe et de mettre en place des mesures correctives afin de nous améliorer en permanence. Concernant la volonté, chaque membre du groupe a su s'investir tout au long de l'année, ce qui a permis de mener à bien ce projet. Sans une volonté de fer de chacun, nous n'aurions pas pu accomplir tout le travail fait au cours de cette année.

5. Passation

Au cours de cette année, nous sommes partis de zéro et avons mené à bien un projet de grande ampleur. C'est un projet qui nous tient particulièrement à cœur car nous en sommes à l'origine et nous avons tout donné pour qu'il arrive à terme. Nous espérons qu'il pourra perdurer temps en étant retravaillé et amélioré par les promotions suivantes. Tous les documents que nous avons laissé à disposition sont ici pour que les prochains groupes qui auront la chance de créer (ou réparer) leur fusée puissent profiter de notre expérience. En effet, un projet pareil ne peut être effectué sans difficultés et nous souhaitons que notre expérience aide les prochaines promotions à toucher les étoiles également.

Annexe

Annexe 1 : Enquête de satisfaction.

ENQUÊTE DE SATISFACTION

INFORMATIONS PERSONNELLES

NOM - PRÉNOM

POSTE

CRITÈRE	AVIS				
	Mauvais	Passable	Neutre	Bien	Excellent
Avis général sur le projet.	☐	☐	☐	☐	☐
Aboutissement du projet. -> Atteinte des objectifs.	☐	☐	☐	☐	☐
Réalisations personnelles. -> Qualité du travail fourni.	☐	☐	☐	☐	☐
Ambiance générale. -> Communication. -> Conflits.	☐	☐	☐	☐	☐
Organisation du groupe. -> Réunions. -> Répartition des tâches.	☐	☐	☐	☐	☐
Délais. -> Heures nécessaires à la réalisation du projet. -> Deadlines raisonnables.	☐	☐	☐	☐	☐
Investissement des membres. -> Travail fourni. -> Envie de s'impliquer.	☐	☐	☐	☐	☐
Résolution des problèmes rencontrés. -> Temps avant résolution. -> Solutions définitives.	☐	☐	☐	☐	☐
Matériel. -> Matériel à disposition. -> Commande du matériel nécessaire.	☐	☐	☐	☐	☐
Si vous pouviez revenir en arrière, est-ce que vous choisiriez à nouveau le projet Hélios comme projet technologique ?	Oui ☐			Non ☐	

COMMENTAIRES



Annexe

Annexe 2 : Plaquette courte de présentation du projet.

POLYAÉRO®

FORMASUP
PROVENCE - ALPES - CÔTE D'AZUR

C F A
É P U R E
MÉTÉOROLOGIE

IUT
Institut Universitaire
de Technologie
Aix - Marseille Université

POLYAÉRO Licence Professionnelle MIA

PROJET HÉLIOS

Rien n'est impossible

Annexe

L'OBJECTIF DU PROJET

- Dans le cadre de notre formation en LP MIA, nous effectuons un projet technologique qui a pour objectif la fabrication d'une **fusée expérimentale et fonctionnelle en Impression 3D**. Le développement d'une fusée n'est qu'une base, nous avons pour projet d'implanter des capteurs afin d'effectuer des relevés de mesures (vitesse, pression, température...) ainsi que d'initier un processus afin de réemployer la structure de cette fusée.
- Dans le cadre de notre formation, nous avons accès à de nombreuses technologies au sein du centre POLYAÉRO.
- RA : Réalisation de cartes de travail.
- RV : Réalisation de la maintenance de la fusée expérimentale.
- Impression 3D : Fabrication du fuselage via impression 3D composite.
- 3D Experience : Conception de la fusée expérimentale.
- Nous mettrons en place un processus de Contrôle Non Destructif à partir d'essais sur différentes éprouvettes qui nous permettront de voir la résistance de certains matériaux lors du vol.
- L'un des buts de notre projet technologique est de créer une structure qui sera réutilisable en y intégrant un parachute. Mais également de pouvoir faire des documents de processus de contrôle qui nous permettront de voir différentes déformations après vol.

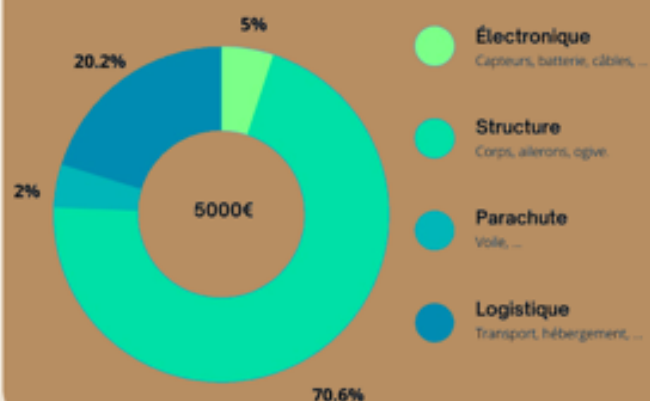


QUI SOMMES NOUS ?

Nous sommes 14 élèves de la licence professionnelle métiers de l'industrie aéronautique (LP MIA) du centre d'excellence de formations aéronautiques POLYAÉRO.

Dans le cadre de notre formation, notre groupe s'est formé de par l'intérêt commun que nous portons à la conception et la réalisation d'une fusée.

NOS BESOINS



Année universitaire : 2022 – 2023

Groupe : **Fusée expérimentale**

Titre du projet : **Hélios**

Responsables :

Chef de projet : CHUDZIK Romain

Résumé du projet technologique (en anglais) :

Our group decided to design and build an experimental rocket. The aim was to make it in 3D printing and to study its characteristics and the modifications it undergoes during its flight.

Mots clés :

Fusée expérimentale – Impression 3D