



Projet CLASH - MF-02

Rapport de fin de projet



Space'Tech Orléans
Université d'Orléans

Planète Sciences
CNES

31/08/2024



Remerciements

- Nous tenons dans un premier temps à remercier toute l'équipe du projet CLASH dont la plupart des membres ont réalisé leur premier projet de fusée. Un grand bravo à eux.
- Nous souhaitons également remercier les personnes extérieures au projet, sans lesquelles le lancement n'aurait pas pu avoir lieu: M. MAROLLAUD pour la fabrication du parachute, ainsi que M. SAVATIER pour le prêt du véhicule nous ayant permis de nous rendre jusqu'à Tarbes.
- Nous remercions Planète Sciences et le CNES et leurs bénévoles pour l'organisation de ce fabuleux évènement et surtout pour le suivi technique régulier tout au long du projet.
- Merci aussi à nos partenaires : le CROUS Orléans-Tours, l'Université d'Orléans ainsi que la marque RS Components pour leur soutien financier auprès de notre projet.
- Enfin merci à l'école Polytech Orléans de nous fournir ses locaux pour la réalisation de ce projet ainsi que ceux de notre association.



Sommaire

REMERCIEMENTS	1
SOMMAIRE	2
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	3
INTRODUCTION	4
1. DESCRIPTION MECANIQUE DU PROJET	5
1-1. Aperçu général	5
1-2. StabTraj et ailerons.....	6
1-3. Parachute.....	7
1-4. Système d'éjection du parachute	8
2. DESCRIPTION ELECTRONIQUE DU PROJET	10
2-1. Ecriture du code	10
2-2. Cartes électroniques.....	11
3. DEROULEMENT DU VOL ET RECUPERATION	14
CONCLUSION	16
ANNEXES.....	17
ANNEXE A. Membres du projet	17
ANNEXE B. Vue d'ensemble de la fusée	18
1. <i>Partie coiffe et parachute</i>	18
2. <i>Partie électronique</i>	19
3. <i>Partie moteur</i>	20
ANNEXE C. Diagramme GANTT du projet	21



Table des illustrations

<i>Figure 1. Sous-ensembles de CLASH</i>	<i>5</i>
<i>Figure 2. Schéma bloc électronique de CLASH (étape 0 et 1)</i>	<i>10</i>
<i>Figure 3. Schéma bloc électronique de CLASH (étape 2 à 5)</i>	<i>11</i>
<i>Figure 4. Schéma électronique de CLASH</i>	<i>12</i>
<i>Figure 5. Diagramme GANTT du projet CLASH.....</i>	<i>21</i>
<i>Photo 1. Rendu final CLASH.....</i>	<i>4</i>
<i>Photo 2. Rendu 3D CLASH</i>	<i>5</i>
<i>Photo 3. StabTraj de CLASH.....</i>	<i>6</i>
<i>Photo 4. Ailerons de CLASH fixés au corps</i>	<i>7</i>
<i>Photo 5. Ailerons de CLASH</i>	<i>7</i>
<i>Photo 6. Fixation du parachute au corps.....</i>	<i>7</i>
<i>Photo 7. Fixation de la coiffe éjectable</i>	<i>8</i>
<i>Photo 8. Logement du parachute + système d'éjection</i>	<i>9</i>
<i>Photo 9. Carte LED de CLASH</i>	<i>13</i>
<i>Photo 11. Bloc électronique assemblé.....</i>	<i>13</i>
<i>Photo 10. Séquenceur de CLASH</i>	<i>13</i>
<i>Photo 12. Décollage de CLASH (crédit: Planète Sciences)</i>	<i>14</i>
<i>Photo 13. Position de CLASH à l'atterrissage</i>	<i>15</i>
<i>Photo 14. Partie Ejection parachute + coiffe.....</i>	<i>18</i>
<i>Photo 15. Partie électronique.....</i>	<i>19</i>
<i>Photo 16. Partie moteur + ailerons</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 1. Membre du projet CLASH</i>	<i>17</i>



Introduction

Ce projet, mené par l'association Space'Tech Orléans, avait pour objectif principal de faire découvrir la réalisation de fusées aux nouveaux membres de l'association. En effet, une mini-fusée est bien plus simple à réaliser qu'une fusée expérimentale.

La seconde vocation de ce projet était de réaliser un système fonctionnel de récupération par la coiffe (et non par une trappe latérale comme on a l'habitude de voir) pour permettre à la fusée de descendre verticalement. Un système d'acquisition de données et une caméra embarquée devaient permettre de voir le comportement lors de la descente.

Ce projet s'est donc déroulé en un an avec une équipe principalement composée de débutants dans le domaine de la fabrication de fusée (cf. tableau membre en annexe). Pour sa réalisation, nous nous sommes inspirés de modèles déjà réalisés auparavant au sein de notre club (notamment pour l'électronique), mais une partie R&D a été nécessaire pour l'éjection du parachute.



Photo 1. Rendu final CLASH

1. Description mécanique du projet

La mécanique de notre MiniF reste assez simple, nous n'avons pas cherché la complexité. Seule la partie parachute a été plus technique. Son développement a représenté la plus grande partie du projet.

1-1. Aperçu général

Notre fusée se situe dans la catégorie des MiniF, elle est donc équipée d'un moteur Pro24 fourni par le CNES. Elle mesure 1 mètre de haut (sans les ailerons) pour 80 mm de diamètre, le corps est composé d'un tube en PVC de 2mm d'épaisseur et d'une coiffe ogivale (de type Von Karman) en PLA. Par ailleurs, les pièces internes sont imprimées en PLA (excepté la bague de reprise de poussée). Les ailerons, au nombre de 4, sont en aluminium. La masse totale de la fusée est de 1960 g.

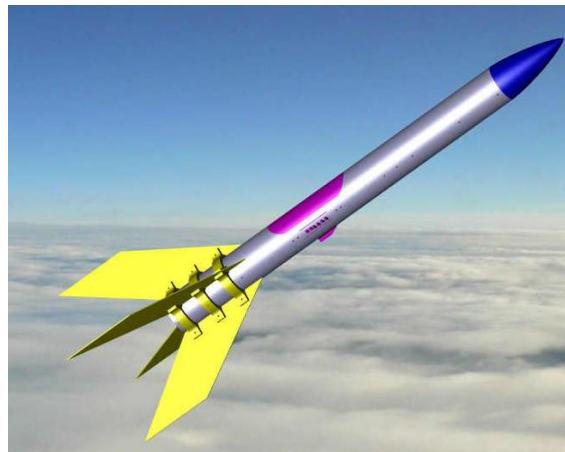


Photo 2. Rendu 3D CLASH

Le corps de notre fusée est donc divisé en 3 sous-ensembles :

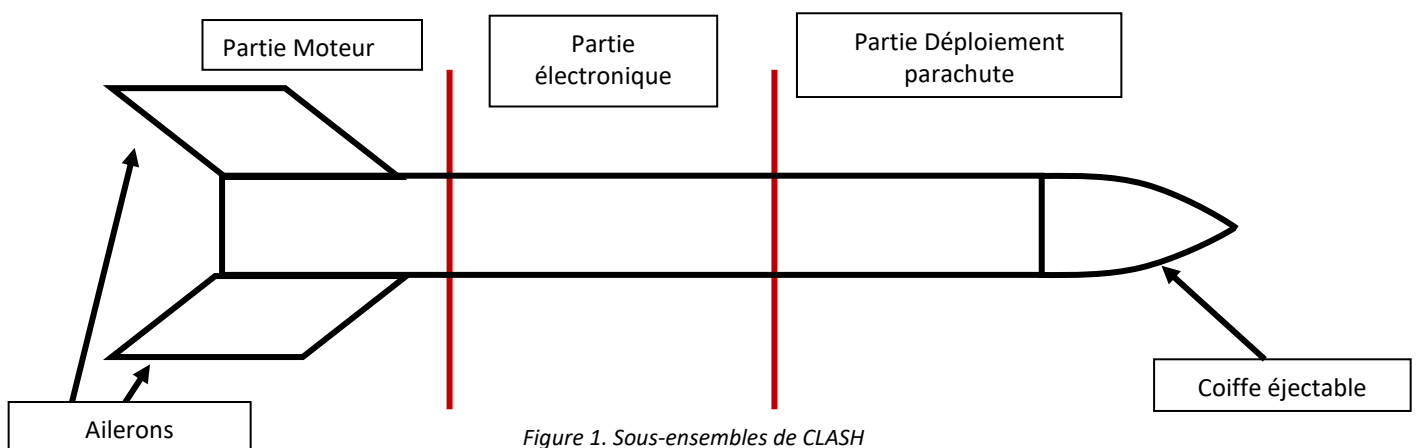


Figure 1. Sous-ensembles de CLASH



1-2. StabTraj et ailerons

Le StabTraj est la partie la plus importante de la réalisation d'une fusée. C'est lui qui définit si elle est théoriquement stable ou non en fonction des dimensions d'ailerons et de corps choisies.

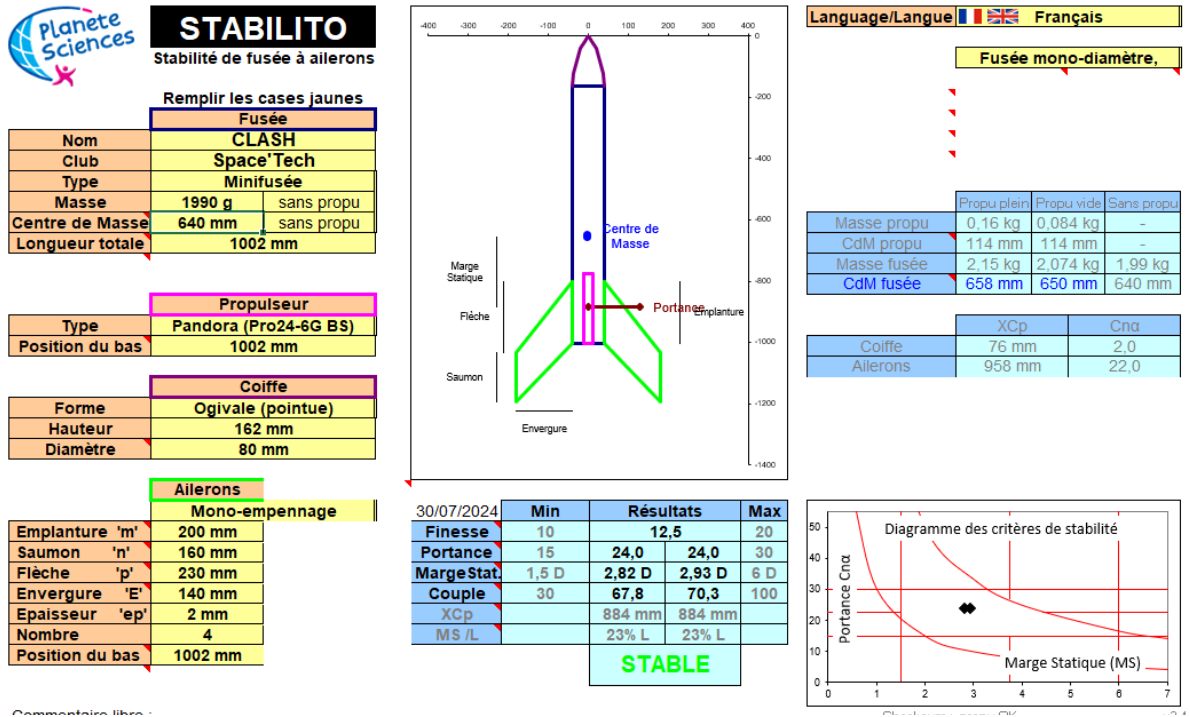


Photo 3. StabTraj de CLASH

On note la forme pointue des ailerons, ceci dans un but de respecter l'objectif que nous nous sommes fixés, à savoir, atterrir verticalement. En effet, cette forme pointue leur permettra de se planter dans le sol à l'atterrissage de telle sorte que la fusée reste debout malgré la force de l'impact.



Photo 5. Ailerons de CLASH



Photo 4. Ailerons de CLASH fixés au corps

Ces derniers sont rattachés au corps de la fusée par serrage grâce à un total de 12 fixations circulaires imprimées en 3D et réparties sur 3 niveaux. Les fixations centrales sont également reliées au corps de la fusée grâce à une vis fixée dans une bague à l'intérieur de celui-ci. Cela permet de sécuriser les ailerons, qui devront supporter la totalité de l'impact.

1-3. Parachute

Notre objectif était de maintenir la vitesse de descente de notre fusée entre 10 et 11 m/s, conformément aux exigences du cahier des charges, tout en étant suffisamment rapide pour assurer que les ailerons s'enfoncent correctement dans le sol. Nous devons également respecter une contrainte de volume, car le compartiment destiné au parachute n'offrait pas une capacité illimitée. De plus, l'arrimage du parachute à la fusée était crucial. Nous l'avons positionné au-dessus du centre de gravité pour réduire les oscillations. Le parachute était attaché à une bague en PLA, ayant été soumise à des tests d'effort bien supérieurs à ceux prévus lors du vol.



Photo 6. Fixation du parachute au corps

Nous sommes d'abord partis sur un parachute cruciforme en toile de polyester pour sa résistance supérieure au parachute hémisphérique. Mais après discussion avec Planète Sciences lors de la RCE 3, nous sommes finalement revenus sur notre décision car il s'avère qu'un parachute hémisphérique avec une cheminée rendrait la fusée plus stable lors de la descente.

Malheureusement, les contrôleurs du C'Space se sont rendu compte que le parachute était trop épais pour sortir de son logement en plein vol. Heureusement, nous avons pu fabriquer sur place un parachute avec une toile beaucoup plus fine qui nous a été fourni par un club de l'ICAM.

1-4. Système d'éjection du parachute

Comme expliqué ci-dessus, un des objectifs de notre fusée est d'atterrir verticalement. Pour y parvenir, nous avons décidé de faire sortir le parachute par la coiffe. La partie la plus importante de notre projet a donc été la recherche et la mise au point d'un mécanisme capable d'éjecter la coiffe pour libérer le parachute se trouvant en dessous. Tout en s'assurant un maintien de cette dernière pendant la phase d'ascension

Le système auquel nous avons abouti est un ensemble de 4 tiges coudées qui viennent jouer un rôle de crochet afin de maintenir la coiffe en place pendant le vol. A l'apogée, un servomoteur, avec l'aide d'un jeu d'engrenages, fait pivoter les crochets de 90° libérant ainsi la coiffe.

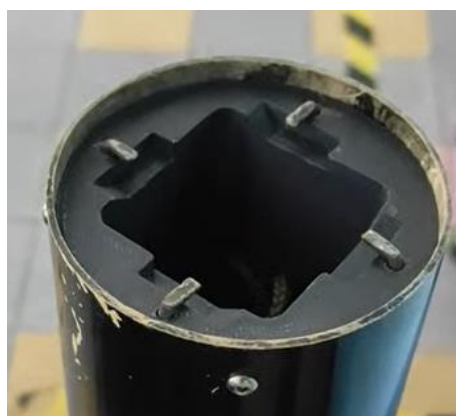


Photo 7. Fixation de la coiffe éjectable

Le parachute, quant à lui, se situe dans un logement que nous avons appelé “cuve” situé directement sous l’ogive. Il est comprimé dans ce compartiment par une plaque fixée à un ressort situé au fond de cette “cuve” (cette plaque sert essentiellement à éviter les contacts entre le parachute et le ressort). Le parachute est retenu par la coiffe encore solidaire du corps de la fusée. Ainsi, une fois la coiffe éjectée, il se retrouve propulsé vers l’extérieur grâce au ressort et se déploie dans l’air.



Photo 8. Logement du parachute + système d'éjection

Un problème important auquel nous avons été confrontés ici est la libération de la coiffe. En effet, la force exercée par le ressort sur la coiffe bloquait les fixations faisait sauter les engrenages. Parfois, une fixation ne tournait pas suffisamment et empêchait la libération de celle-ci. Il a donc fallu trouver le juste milieu dans le réglage de ces dernières. La solution ici a été de diminuer l’angle de rotation des tiges. Cela a permis de résoudre le problème

2. Description électronique du projet

L'objectif de l'électronique de la fusée est de permettre la libération de la coiffe pour que le parachute puisse se déployer au bon moment, à savoir l'apogée. Cette libération est déclenchée par un servomoteur. Nous avons également conçu une interface homme-fusée en utilisant plusieurs LED, qui indiquent le statut du lancement de la fusée. Nous y avons intégré des boutons permettant de contrôler l'ouverture de la coiffe. Tout cet ensemble est contrôlé par une carte Arduino Nano.

2-1. Ecriture du code

Avant de s'atteler à l'écriture du code, il faut bien définir ce que ce dernier doit réaliser. L'équipe a décidé de découper son code en différents "states" demandant de définir quels seront ces states, qui correspondent aux étapes de vols ainsi que les liens entre ces étapes.

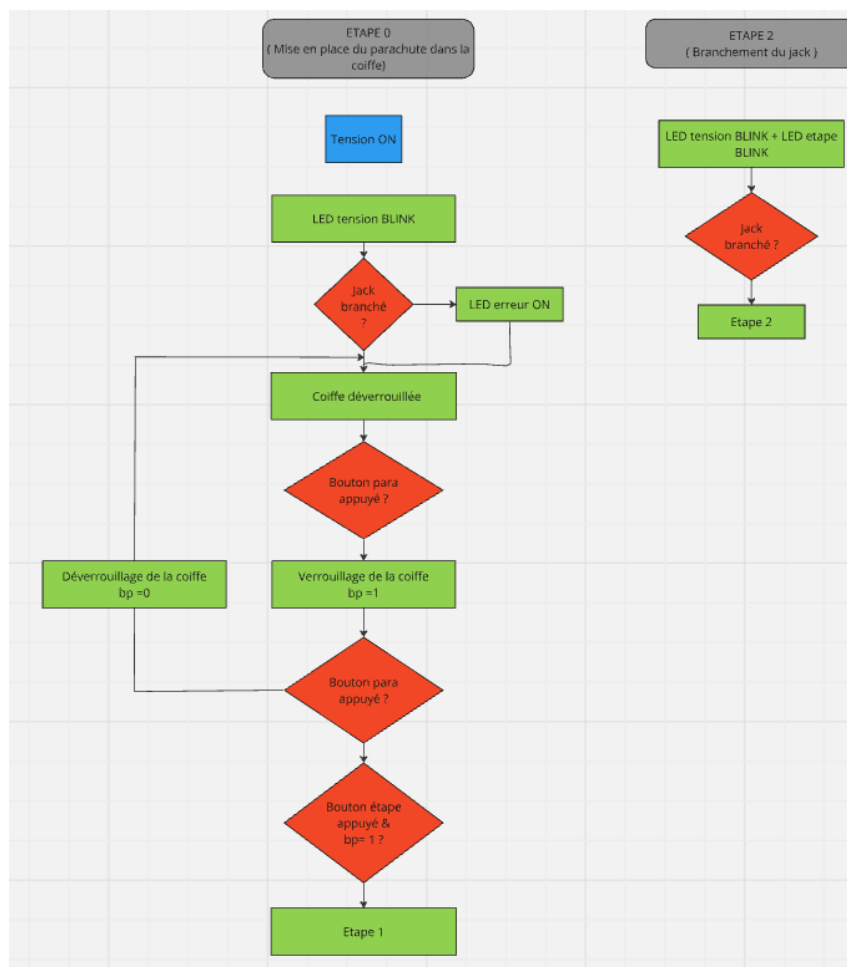


Figure 2. Schéma bloc électronique de CLASH (étape 0 et 1)

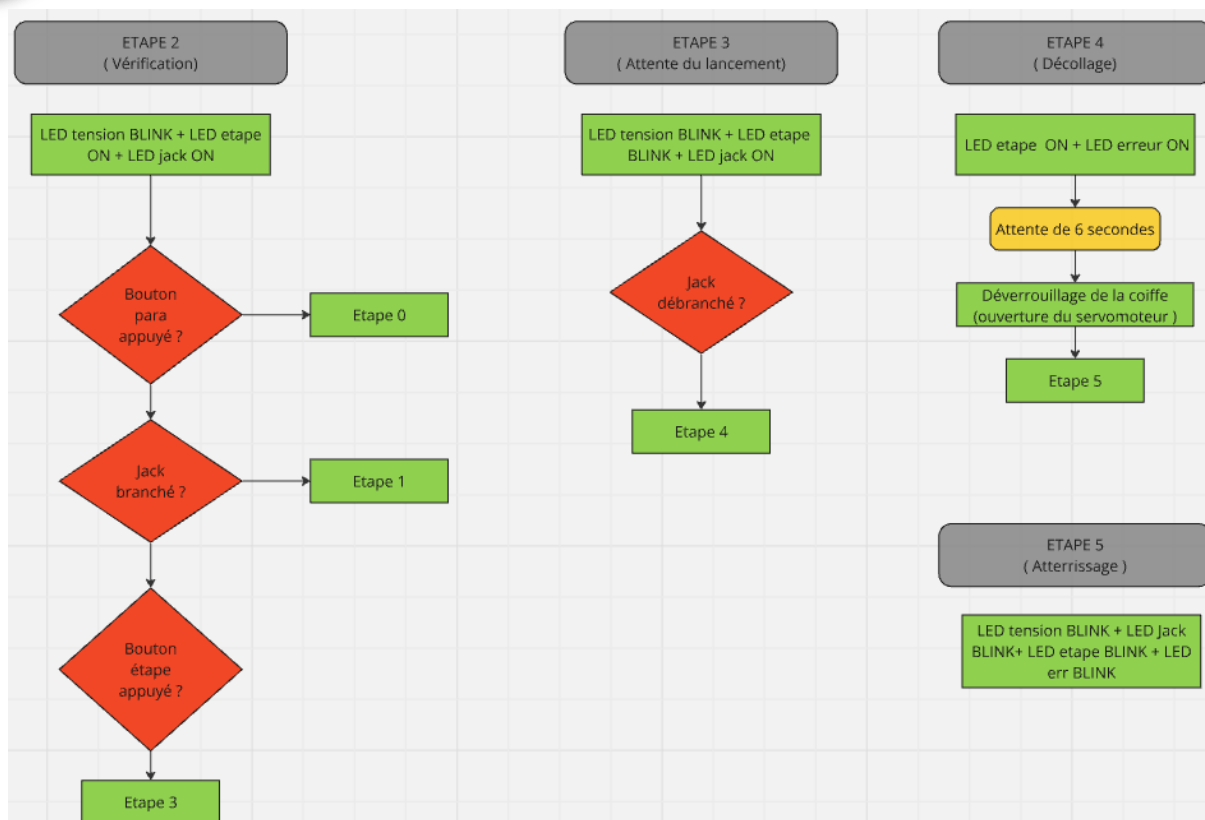


Figure 3. Schéma bloc électronique de CLASH (étape 2 à 5)

Une fois ce travail réalisé, le code a été écrit sur Arduino en suivant ces différentes étapes.

2-2. Cartes électroniques

Les membres de ce projet étant tous novices en électronique, il a été décidé pour ce projet de ne pas faire de nouveaux PCB ou de carte LED, mais de réutiliser ceux qui étaient déjà présents dans les locaux de l'association. Cela permettait de gagner du temps tout en adoptant une démarche écologique visant à éviter le gaspillage.

Cependant, ne les ayant pas commandées, il n'y avait pas de nombreux exemplaires à notre disposition. De plus, nous ne connaissions pas avec exactitude le fonctionnement de ces PCB. Une simulation sur Tinkercad du montage a été réalisée au préalable afin de bien comprendre comment les systèmes réagissent et comment les mettre en lien. Malgré tout, le fait de ne pas réaliser nos propres cartes nous a fait perdre beaucoup de temps dans la compréhension du montage et la programmation des cartes.

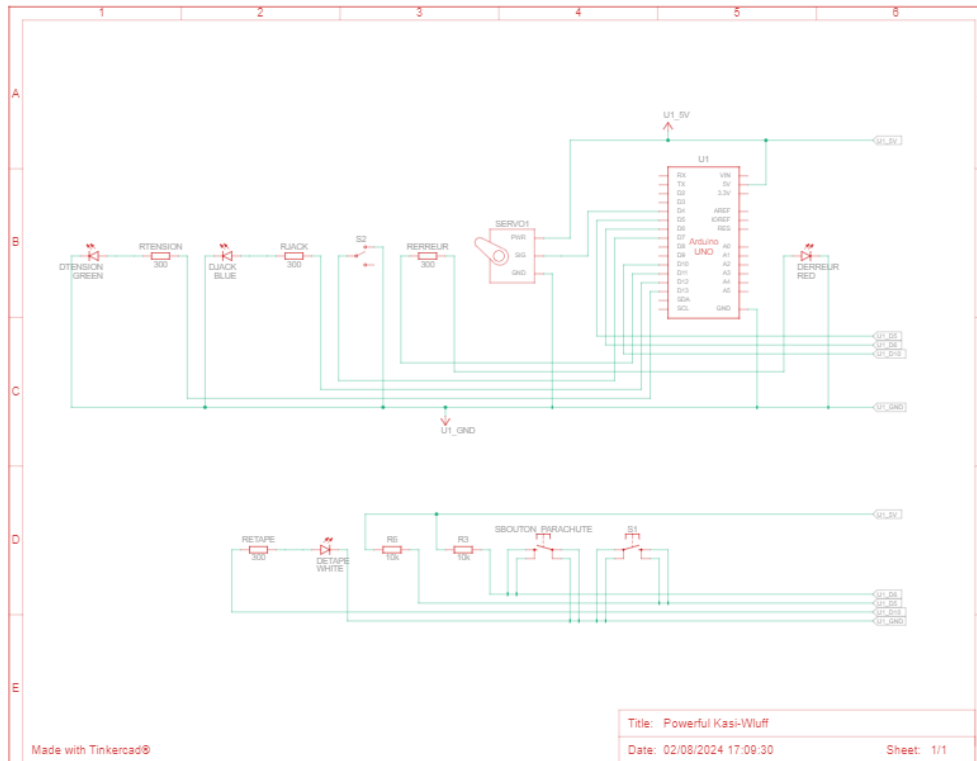


Figure 4. Schéma électronique de CLASH

Une fois tous les composants nécessaires clairement identifiés, nous avons pu commencer l'assemblage de tous les PCB.

La carte LED nous permet de contrôler la fusée grâce aux boutons et d'avoir des informations utiles sur l'état de cette dernière (alimentation, jack, erreur et paré au décollage).



Photo 9. Carte LED de CLASH

L'ensemble était alimenté par une pile alcaline de 9V. L'autonomie minimale estimée est de 4h.

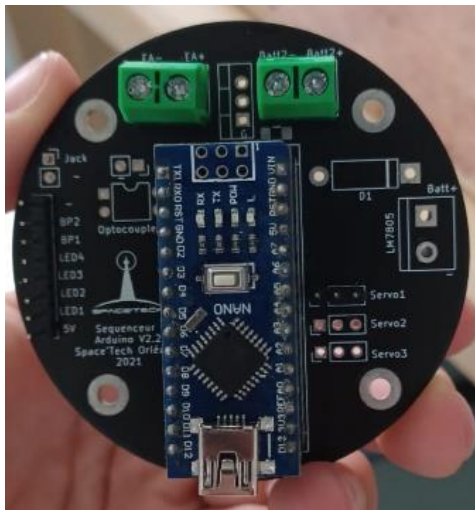


Photo 11. Séquenceur de CLASH



Photo 10. Bloc électronique assemblé

Enfin, l'ensemble des pins et des composants annexes (fils, transistors, bouton d'alimentation, ...) ont été soudés. De nombreux tests ont été réalisés, à différentes étapes d'avancement, afin d'apporter des modifications et des améliorations.

Un MPU, contenant un accéléromètre et un gyromètre, devait être intégré à l'électronique afin de récupérer les données de vitesse mais surtout de position pour confirmer la verticalité de la fusée lors de l'atterrissage. Faute de temps, cela n'a malheureusement pas été réalisé.

3. Déroulement du vol et récupération

Après la RCE 3, CLASH a obtenu sa préqualification pour la campagne du C'Space 2024. Malheureusement, par manque de temps, aucun appareil de mesure ni de prise de vue n'a pu être installé

Le décollage a eu lieu le mardi 9 juillet 2024 à 11h56. La météo était idéale (ciel dégagé, pas de vent). Il n'y a donc pas eu trop d'attente sur la rampe de lancement.



Photo 12. Décollage de CLASH (crédit: Planète Sciences)

Le vol s'est très bien déroulé, selon les estimations et les images fournies par Planète Sciences, l'apogée a été atteinte après 6 secondes de vol avec un pic à 160 m d'altitude. Ensuite, vers 7.50 secondes, le séquenceur a déclenché la libération de la coiffe afin que le parachute s'éjecte.

Le parachute s'est correctement déployé (pas de torche) et on observe bien la fusée se remettre en position verticale pour continuer sa descente. On notera que la taille des ailerons n'a pas joué en la faveur de la mise en position verticale de la fusée qui cherchait constamment à se retourner lors de la descente. Enfin, après 13 secondes de descente sous parachute, les ailerons de CLASH se sont plantés dans le sol à une vitesse estimée à 11 m/s.



Projet CLASH – MF-02 Rapport de fin de projet



Photo 13. Position de CLASH à l'atterrissage

Lors de la récupération, la fusée était bien debout avec 2 ailerons fortement plantés dans le sol et ayant subi une légère déformation.

Les contrôleurs ont confirmé que le vol de CLASH était nominal.



Conclusion

Ce projet, comme la plupart des projets de notre association, nous a permis d'acquérir beaucoup de compétences dans de nombreux domaines. Mais surtout, il a permis à de nouveaux membres de se former sur la réalisation de projet fusée. Ceci dans un but de réaliser dès l'année prochaine des projets de fusée expérimentales ou simplement leur propre projet.

Le sérieux et l'implication de tous sur ce projet a permis d'avancer dans un rythme assez soutenu en gardant un groupe soudé malgré les difficultés rencontrées. Certains ont éprouvé le sentiment de stagner, notamment à la fin du projet.

De plus, cette fusée permet de montrer que notre association peut faire preuve d'innovation en créant de nouveaux systèmes fonctionnels à partir de rien. Même si ce système d'éjection de coiffe reste à perfectionner, il a prouvé son bon fonctionnement lors de ce vol nominal . Cela le rend fiable et permet d'envisager sa réutilisation future, par exemple dans une fusée expérimentale.



ANNEXES

ANNEXE A. Membres du projet

L'équipe du projet CLASH est composée d'un total de 10 membres, une majorité d'entre eux débutent dans la conception de fusée :

Nom	Année	Pôle
Ferdinand Prudhomme	PeiP 2	Chef de projet
Qods Abidi	3A GPSE	Responsable Electronique
Benoît Mazet	PeiP 1	Mécanique CAO
Arthur Aupaix	PeiP 1	Electronique
Lin Jacques	3A TEAM	Electronique
Gabriel Gobin	PeiP 2	Mécanique
Maxime Fabre	PeiP 1	Mécanique
Aurélien Cremel	PeiP 2	Mécanique
Mathis Destais	3A TEAM	Mécanique éjection coiffe
Camille Leblond	PeiP 2	StabTraj

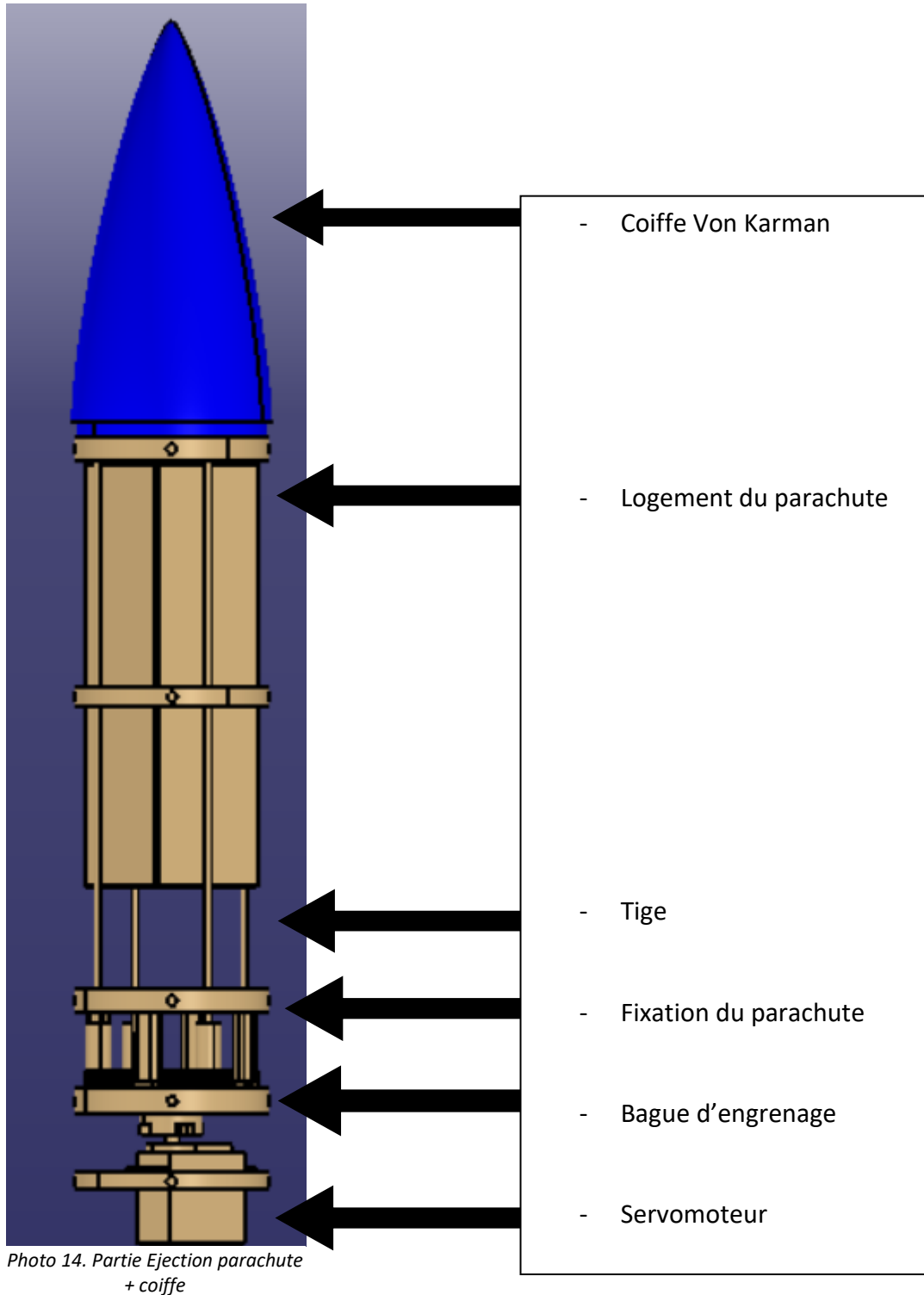
Tableau 1. Membre du projet CLASH

Le projet se divise donc en 2 pôles principaux qui sont la mécanique et l'électronique. Le pôle mécanique s'occupe principalement de la conception de la fusée en association avec le responsable du StabTraj, une sous-partie de ce pôle est consacrée à la conception du système d'éjection de la coiffe, l'un des systèmes mécaniques les plus complexes de cette MiniF. Le pôle électronique s'occupe de toute l'électronique embarquée de la MiniF à savoir le séquenceur et le moteur en charge de libérer la coiffe.

Seuls Benoît Mazet et Ferdinand Prudhomme se sont rendus au C'Space pour le lancement de la fusée accompagnés par les membres d'un autre projet.

ANNEXE B. Vue d'ensemble de la fusée

1. Partie coiffe et parachute



2. Partie électronique

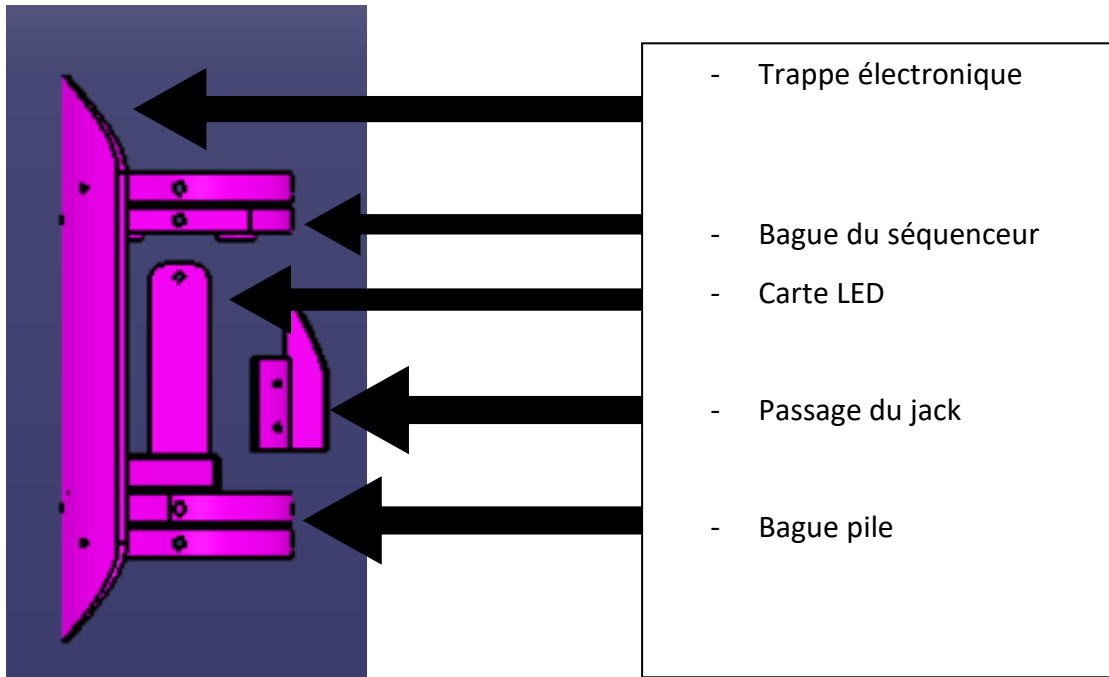


Photo 15. Partie électronique

3. Partie moteur

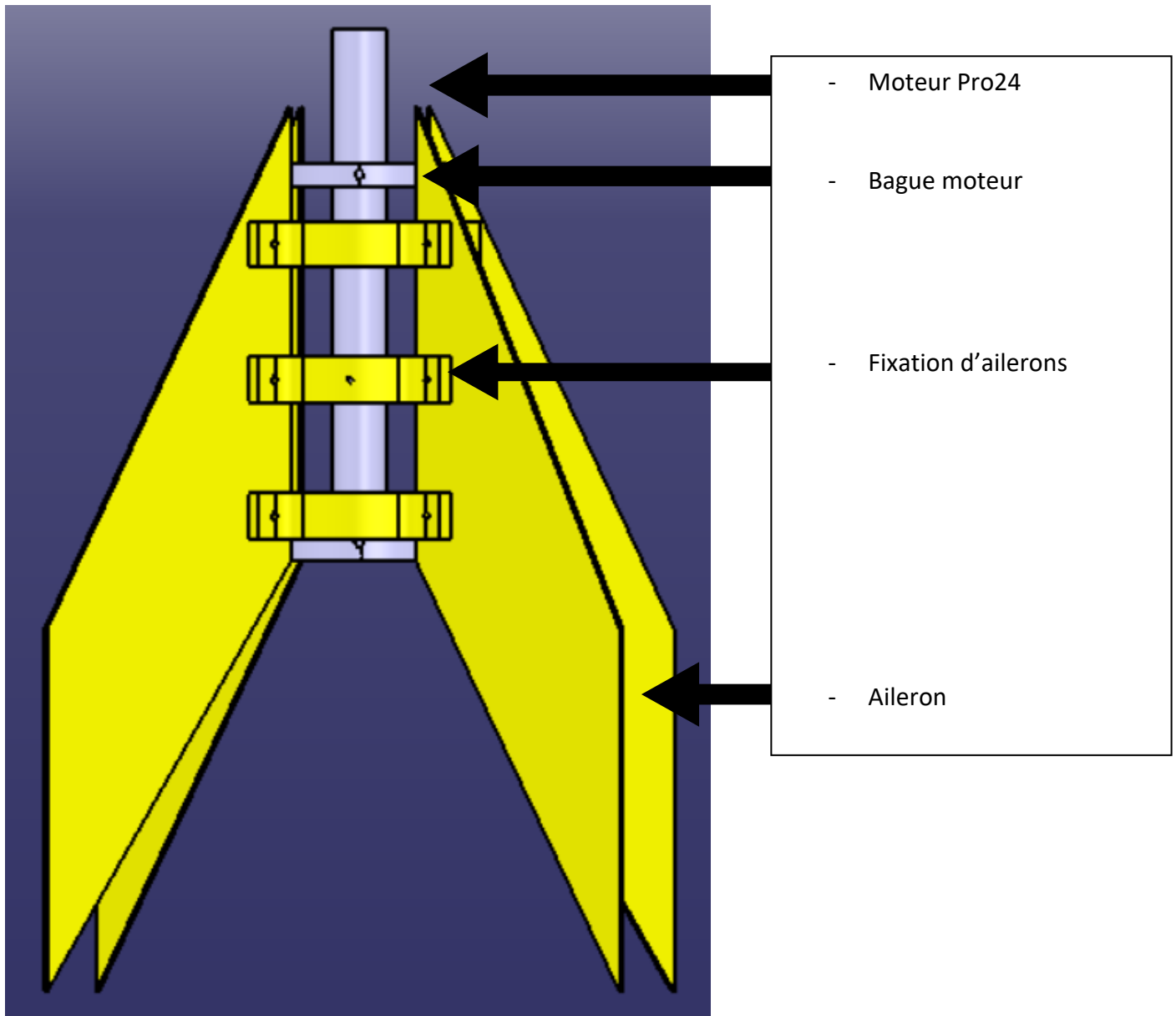


Photo 16. Partie moteur + ailerons



ANNEXE C. Diagramme GANTT du projet

Projet CLASH

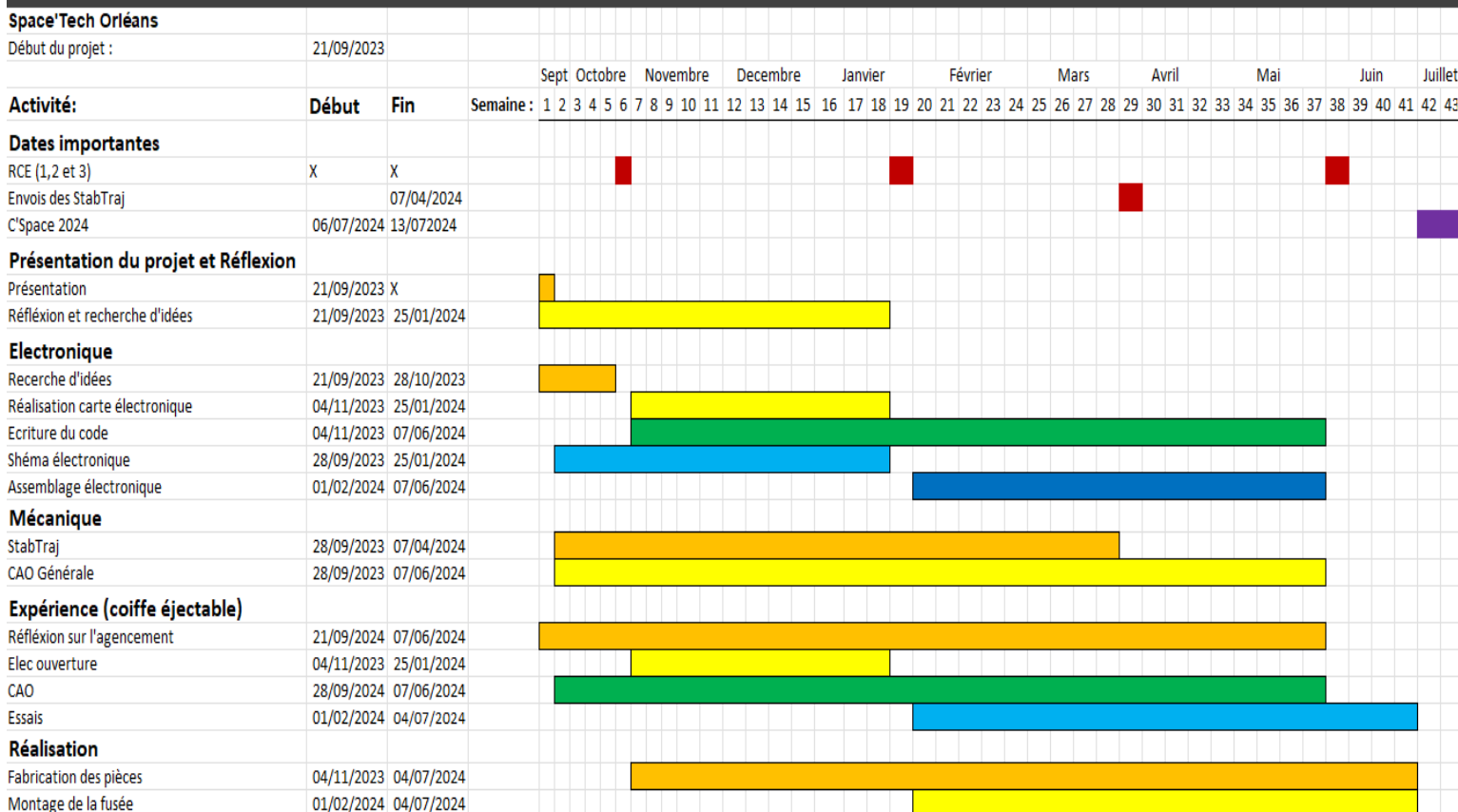


Figure 5. Diagramme GANTT du projet CLASH