

PARABOLE 2024

DREAM



Alfred DEDUYER - Arnaud BLEUNVEN - Teys COCSET



DREAM



ENST2



1. Versions du document

AUTEURS

ARNAUD BLEUNVEN

TEYS COCSET

ALFRED DEDUYER

VERSIONS DU DOCUMENT

V1.0	14/11/2024	Version initiale
V1.1	22/12/2024	Version technique complète
V1.2	15/01/25	Version pré-relecture
V1.3	28/01/2025	Version finale



2. Sommaire

Table des matières

1. Versions du document.....	2
2. Sommaire.....	3
3. Remerciements.....	4
4. Avant-propos	5
5. Acteurs du projet.....	6
6. Histoire.....	7
7. Description technique	8
7.1. Objectifs du Projet.....	8
7.2. Caractéristiques Techniques de l'expérience	9
7.3. Le châssis.....	10
7.3.1. Les contraintes techniques de l'expérience.....	10
7.3.2. La conception	11
7.4. Électronique	14
7.4.1. Schéma électronique général.....	14
7.4.2. Contrôleur de vol.....	15
7.4.3. Alimentation du drone	16
7.4.4. Balises de triangulations UWB.....	18
7.5. Logiciels	20
7.5.1. Logiciel de vol du drone.....	20
7.5.2. DREAM Link.....	21
7.5.3. Logiciel des balises.....	21
7.5.4. DREAM App.....	22
7.6. Contraintes et défis	23
8. Protocole expérimental.....	24
8.1. Position initiale.....	24
8.2. Fiche protocole	25
9. Campagne de vol	26
9.1. Préparation avant le vol.....	26
9.2. Essais en vol	27
10. Table des illustrations	30



3. Remerciements

Nous avons vécu l'une des expériences les plus formidable de notre vie. Si nous avions su, il y a un an, que nous aurions la chance de participer à un vol parabolique avec le CNES, nous n'y aurions pas cru. C'est pourquoi nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à l'ensemble des acteurs qui ont pu rendre ce projet possible.

Tout d'abord, nous remercions le **CNES** et **Novespace** qui ont cru en notre projet et l'ont sélectionné aux côtés de « MACCADA-0G » et « ICARE » le 1er décembre. Nous remercions également notre école, **l'ENSTA** et **ENSTA Bretagne Alumni** qui nous ont aidés à développer ce drone. Ainsi que **SADAL Engineering**, qui nous a généreusement fabriqué le boîtier d'alimentation.

Enfin, nous remercions **Thomas Vilatte**, notre coordinateur technique chez Novespace, pour ses conseils et son expertise, notamment dans le développement de la sécurité de nos systèmes, **Damien de Seze**, pour ses conseils et ses anecdotes lors de cette campagne de vol, ainsi que toutes les personnes rencontrées durant la campagne, passionnées par leur travail.



4. Avant-propos

Le projet DREAM (pour DRone En Accélérations Modifiées) vise à concevoir et développer un drone quadricoptère capable d'effectuer un vol dans les différentes phases d'accélération d'un vol parabolique.



Figure 1. Photo du drone en configuration de vol

5. Acteurs du projet

Nous sommes une équipe de trois apprentis ingénieurs en formation par alternance à l'ENSTA Bretagne, réunis par une passion commune pour l'aéronautique, le spatial, et l'innovation. Chacun de nous a apporté des compétences dans le développement de ce projet.



Arnaud Bleunven

Arnaud était notre coordinateur principal. Il gérant le projet, la coordination des tâches et la communication avec nos partenaires, comme Novespace, le CNES et L'ENSTA Bretagne. En parallèle, il contribuait au développement du logiciel embarqué, notamment sur les algorithmes d'acquisition capteurs.



Tey Cocset

Tey était chargé de la conception mécanique. Grâce à son expérience, ainsi que sa formation en génie mécanique, il a conçu un châssis du drone et les éléments mécaniques de notre expérience, en respectant les contraintes de légèreté, de robustesse et de sécurité.



Alfred Deduyer

Alfred était le spécialiste de l'électronique et des logiciels embarqués. Il était responsable de la conception et de l'intégration des systèmes électroniques, du développement des programmes pilotant le drone, ainsi que des systèmes de communication.

Ensemble, nous avons formé une équipe complémentaire, représentant les différentes spécialités nécessaires au projet avec la gestion, l'électronique, l'informatique et la mécanique.

6. Histoire

Le projet DREAM a débuté à la rentrée 2023, à l'occasion de l'ouverture des candidatures pour la campagne "Parabole Postbac" du CNES. Nous avons postulé avec un projet qui avait pour but de concevoir un drone capable de s'adapter aux conditions spécifiques des vols paraboliques, marquées par des variations de pesanteur entre 0 G et 1,8 G.

Nos premières réflexions se sont appuyées sur un projet en cours de développement par Alfred, qui consistait en la création d'un drone en concevant son électronique. Ce premier prototype, nommé Level Mini, a servi d'avant-projet et nous a permis de poser les bases techniques du drone. Grâce à ce démonstrateur, nous avons pu tester une première architecture et commencer à valider certains choix techniques avant même la sélection officielle du projet.



Figure 2. Photo du démonstrateur d'avant-projet

Le lancement officiel du projet a eu lieu lors du **workshop Parabole 2024** en décembre 2023. Ce événement nous a permis d'avoir une première discussion avec notre ingénieur référent chez Novespace pour garantir la sécurité de notre expérience.

7. Description technique

7.1. Objectifs du Projet

L'objectif principal du projet DREAM était de concevoir un drone capable de s'adapter aux changements de pesanteur offerts par les vols paraboliques (de 0 à 1,8 g) ; nous avons également conçu son système environnant permettant de tester de multiples configurations et méthodes de stabilisation au cours des différentes phases de pesanteur.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons conçu le drone dans son intégralité, en intégrant l'électronique, la mécanique et le logiciel de vol. Cette maîtrise totale du système nous a offert une grande liberté dans nos choix techniques et a permis de mettre en œuvre diverses solutions pour expérimenter et optimiser les performances dans les différentes phases de pesanteur.

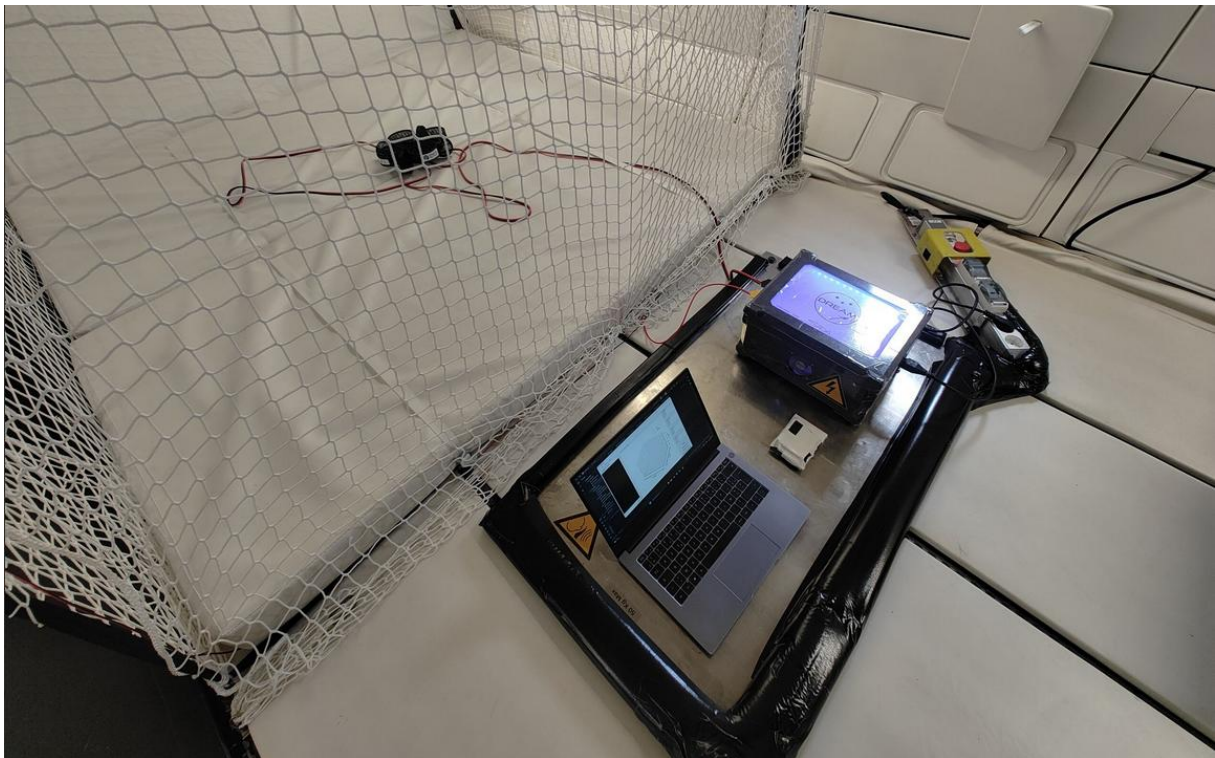


Figure 3. Photo de l'expérience

7.2. Caractéristiques Techniques de l'expérience

Le drone DREAM est un octocoptère. Il est conçu sur une base de drone traditionnel avec quatre moteurs principaux pour assurer la stabilité et la propulsion en gravité normale et hyperpesanteur. Nous avons également ajouté quatre moteurs supplémentaires horizontalement pour permettre des manœuvres de translation et de rotation en micropesanteur.

Pesant seulement 350 g avec tous ces équipements, il dispose d'une structure imprimée en 3D avec une rigidité équivalente à celle d'un châssis en carbone du commerce pour un poids réduit.

Le drone intègre des systèmes de positionnement et de stabilisation, grâce à de multiples capteurs dont : une centrale inertielle, un système de balises de positionnement et des capteurs lasers.

L'expérience dispose d'une base au sol composée d'un boîtier d'alimentation, d'un ordinateur et d'une carte de communication. L'expérience est contrôlée par une application PC DREAM App qui permet d'ajuster les modes de vol et d'enregistrer les données pour des analyses. La communication avec la base au sol est assurée par un réseau sans fil baptisé DREAM Link.

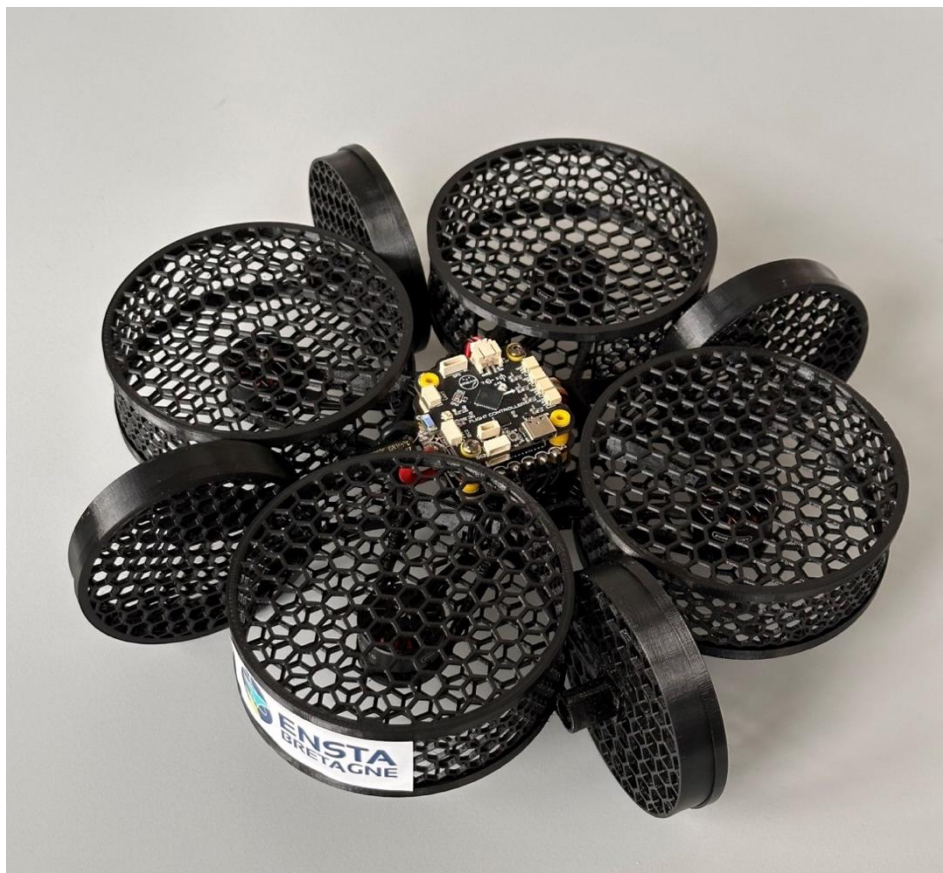


Figure 4. Photo du drone DREAM

7.3. Le châssis

Le châssis du drone DREAM constitue l'élément central de notre conception, regroupant plusieurs innovations pour répondre aux contraintes uniques d'un vol parabolique. Il doit également accueillir de manière fluide tous les éléments nécessaires au bon fonctionnement du drone.

7.3.1. Les contraintes techniques de l'expérience

Légèreté

Dès le départ, l'objectif de l'expérience est de faire voler le drone dans toutes les phases de vol entre 0 g et 1,8 g. Il est donc crucial d'optimiser au maximum le poids du châssis car ce dernier pèsera presque deux fois son poids dans certaines phases de vol.

Rigidité

Le châssis doit être suffisamment rigide pour éviter toute déformation qui pourrait compromettre la stabilité, en gardant en tête le fait que la poussée des moteurs sera deux fois plus importante en 1.8 g. Les contraintes de poids et de rigidité ont dicté le choix de la méthode de fabrication, l'impression 3D, afin d'optimiser les formes du drone, et ainsi optimiser sa rigidité par rapport à sa masse. Ce procédé nous permet également de faire du prototypage rapide à moindre coût.

Résistance aux chocs

Le châssis doit être suffisamment solide pour résister à des chutes en cas de défaillance électrique/électronique. Cette contrainte est importante car il faut éviter à tout prix de disséminer des fragments de plastique dans la cabine de l'avion qui pourrait compromettre la sécurité des personnes à bord.

Modularité

Afin de tester différentes configurations de vol et de stabilisation, le châssis a été conçu de manière modulaire, rendant l'assemblage aisé et permettant des essais avant le collage final des pièces imprimées. De plus, les capteurs peuvent être rapidement remplacés pour ajuster les paramètres expérimentaux. Cela s'est avéré important pour nos tests en amont du vol parabolique.



7.3.2. La conception

Le développement du châssis du drone DREAM a suivi un processus de conception itérative, garantissant une amélioration progressive à chaque étape et une optimisation des performances dans des conditions spécifiques de vol parabolique. Ce processus reposait sur plusieurs cycles successifs de conception, prototypage, test et révision, permettant de minimiser les risques techniques et d'adapter le système à des contraintes imprévues.

Première itération : proof of concept

L'objectif de la première itération était de poser les bases de l'architecture physique du drone : il s'agira donc d'un octocoptère, avec quatre moteurs principaux produisant une poussée suffisante pour faire voler le drone en 2 g, ainsi que quatre moteurs plus petits servant à la translation de l'appareil en 0 g. Cette première itération a également permis de tester les propriétés mécaniques d'un châssis imprimé en 3D.

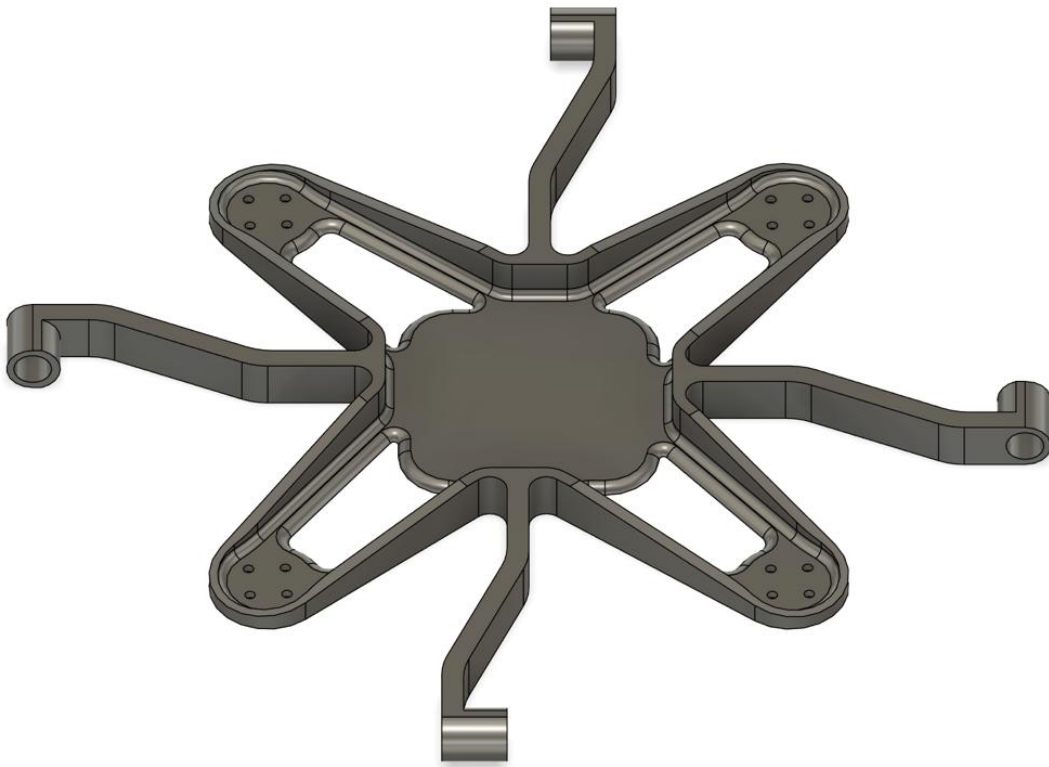


Figure 5. Première itération

Ce premier prototype s'est imprimé correctement, cependant il était relativement lourd et manquait de rigidité dans certaines directions. De plus, aucun carénage n'était intégré, et rien n'était prévu pour accueillir l'électronique. Ces éléments ont donc été rajoutés sur le second prototype.

Seconde itération : Allègement et ajout des carénages

Pour cette seconde itération, nous sommes repartis d'une feuille blanche en prenant en compte toutes les contraintes énumérées ci-dessus. Ce second design sera celui qui évoluera vers la version finale, avec l'ajout progressif d'améliorations au fil des essais au sol.

Le châssis visible sur le rendu ci-dessous s'imprime en une seule opération. Ce processus dure environ 8 heures. Nous avons donc eu pour contrainte la taille du plateau d'impression. En jouant avec les limites de l'imprimante 3D nous arrivons à une taille de 210x210mm. Les principales caractéristiques implémentées dans la conception sont les suivantes :

- Encoches intégrées pour l'intégration des carénages des hélices horizontales
- Carénages en forme de nid d'abeille intégrés avec encoches pour les carénages latéraux
- Support pour l'électronique intégrés
- Optimisation de la masse et des épaisseurs

Le tout étant pensé et optimisé afin de s'imprimer correctement, cette pièce principale du châssis ne pèse que 57 grammes.



Figure 6. Seconde itération évoluée vers le modèle final

Le châssis final comporte un total de 15 pièces, imprimées en 3D, répertoriées ci-dessous :

Dénomination pièce	Masse unitaire (g)	Qté
Châssis inférieur	57,2	1
Carénage supérieur	11,6	1
Carénages sup. horizontaux	5,7	4
Carénages latéraux verticaux	3,8	4
Carénages latéraux horizontaux	6,5	4
Support balise	2,7	1

La masse totale du châssis complet assemblé est de 135,5 grammes, ce qui est légèrement plus léger comparé à ce que l'on peut trouver dans le commerce pour un châssis en carbone. De plus, ces derniers ne sont pas carénés et n'ont que quatre hélices. La forme de notre châssis est optimisée afin d'obtenir une rigidité maximale, en utilisant les carénages afin d'augmenter le moment d'inertie. Nous avons finalement obtenu un châssis léger, robuste, rigide, et intégrant harmonieusement toute l'électronique embarquée.

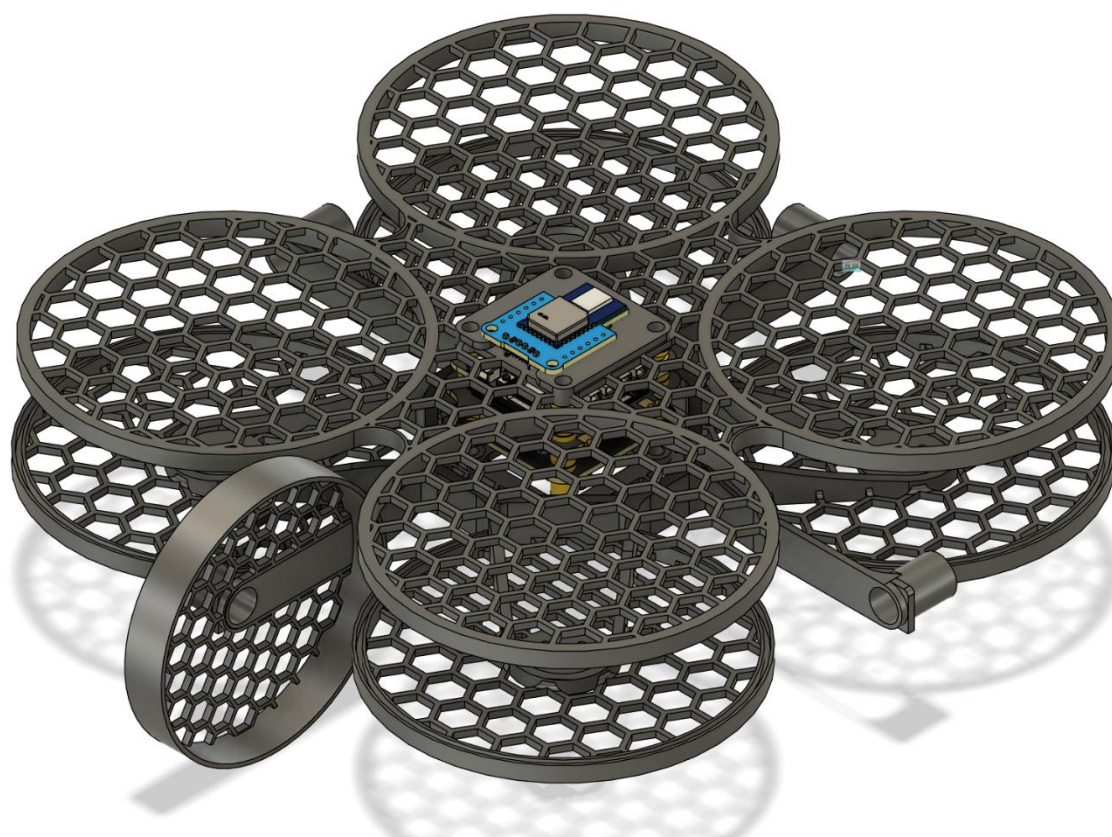


Figure 7. Modèle 3D de la conception finale

7.4.2. Contrôleur de vol

Le contrôleur de vol est le composant central du drone DREAM en charge de la régulation du drone de l'acquisition des capteurs, de la communication, et les fonctions de sécurité. Cette carte électronique a été particulièrement difficile à réaliser car elle mélange électronique de puissance, électronique numérique et de la radio fréquences. Toutes ces fonctionnalités sont regroupées sur un circuit de 4 cm de côté.

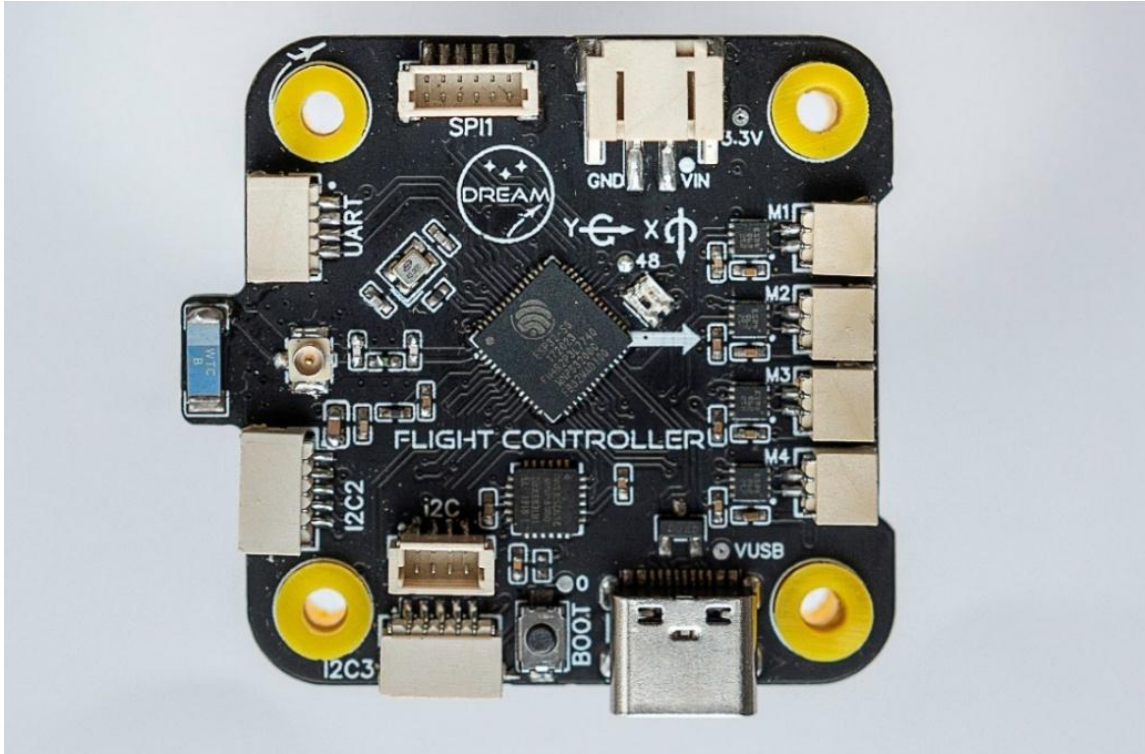


Figure 9. Photo du contrôleur de vol

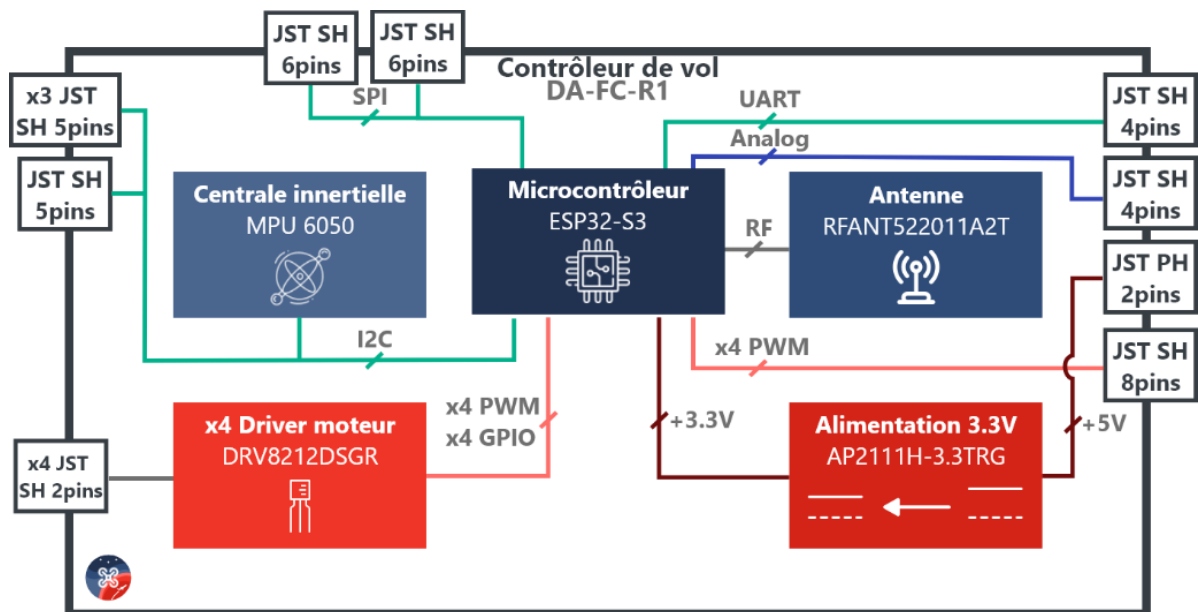


Figure 10. Architecture du contrôleur de vol

7.4.3. Alimentation du drone

Les contraintes de sécurité liées aux vols paraboliques ont rendu la recherche d'une source d'alimentation adaptée pour notre drone particulièrement complexe. Les batteries au lithium utilisées dans tous les drones ne peuvent pas être utilisées pour les objets en freefloat. Les batteries Ni-MH se sont avérées insuffisantes en termes de puissance délivrée, et la technologie des batteries au sodium, bien que plus sûre que les batteries lithium, est encore trop récente pour une utilisation en avion expérimental.

Sur les conseils de Novespace, nous avons choisi d'alimenter notre drone via un câble relié au réseau de l'avion. Cette solution, bien qu'allégeant l'appareil, a soulevé plusieurs problématiques. La longueur variable du câble en fonction de l'altitude du drone perturbait la stabilité du vol avec le changement de masse qui dépend de la hauteur. L'utilisation d'un câble crée des contraintes, avec des chutes de tensions liées au câble et les pics de courant générés lors du freinage des moteurs. Pour résoudre ces contraintes, nous avons intégré une quantité importante de condensateurs, répartis entre le circuit d'alimentation au sol et celui du drone, permettant d'absorber les fluctuations de courant.

Au début du développement, pour limiter le courant et ainsi réduire la taille du câble, nous avons opté pour une tension d'alimentation du drone de 48 V. Cette configuration nécessitait l'utilisation d'un régulateur 48 V - 16 V conçu sur mesure pour le drone, capable de fournir un courant continu allant jusqu'à 60 A. Cependant, après la conception de cette électronique, nous avons constaté que le gain de poids réalisé sur le câble était compensé par le poids supplémentaire du régulateur.

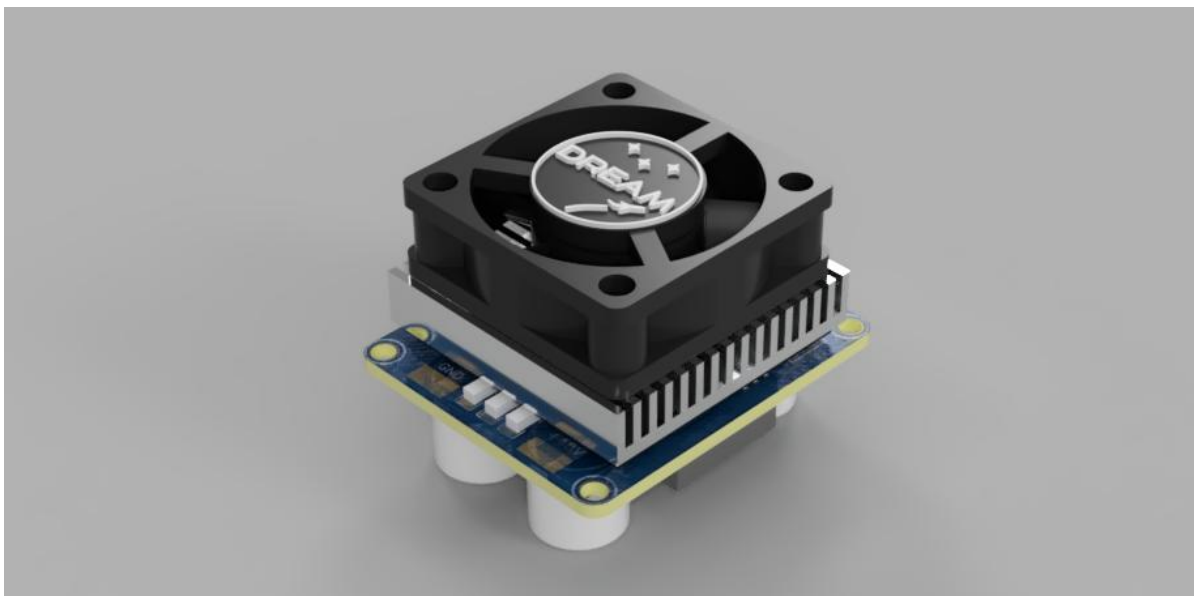


Figure 11. Rendu 3D du régulateur 48V - 16V

Finalement, le système retenu a été une alimentation en 24 V, associée à un câble de section 12 AWG. Cette solution présentait le meilleur équilibre entre la taille du câble, la régulation de la tension à bord du drone et l'alimentation des moteurs en puissance nécessaire.

Pour accueillir l'électronique au sol, nous avons sous-traité la fabrication du boîtier électrique à l'entreprise SADAL Engineering. Ce boîtier contenait l'alimentations 24 V permettant l'alimentation du drone et le convertisseur 5 V des balises de localisation. De plus, le boîtier contenait une grande partie des pièces de sécurités électriques.



Figure 12. Photo du boîtier d'alimentation

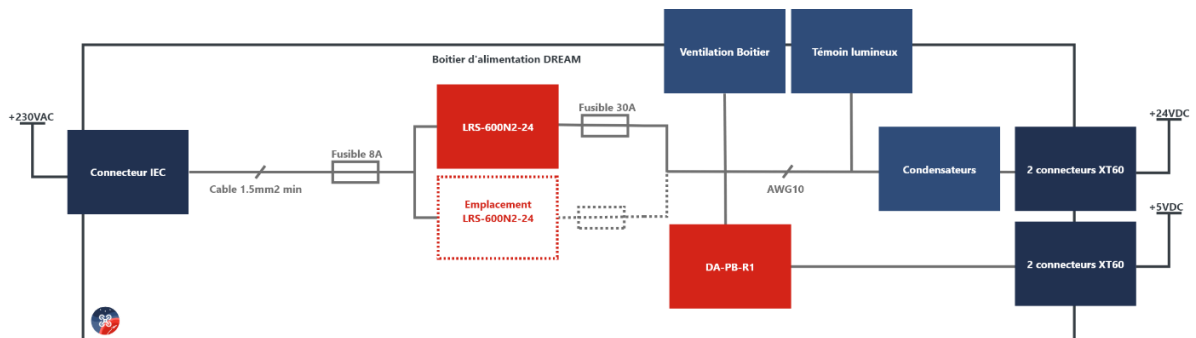


Figure 13. Architecture du boîtier d'alimentation

7.4.4. Balises de triangulations UWB

Pour déterminer la position du drone dans la zone de vol, nous avons choisi de développer un système de positionnement radio basé sur des balises utilisant la technologie UWB (ultra wideband). Cette technologie permet de mesurer la distance entre deux balises. En disposant quatre balises fixes (Anchor) dans l'enceinte de vol et une balise embarquée sur le drone (Tag), il est possible de calculer sa position en utilisant un algorithme de triangulation.

Le schéma ci-dessous illustre le principe de cette triangulation en représentant les sphères de distances sous forme de cercles en deux dimensions (2D). En réalité, le système fonctionne en trois dimensions (3D). La balise centrale connaît les position des balises ancrs et, grâce aux distances et à un algorithme de moindres carrés, permet de déterminer la position.

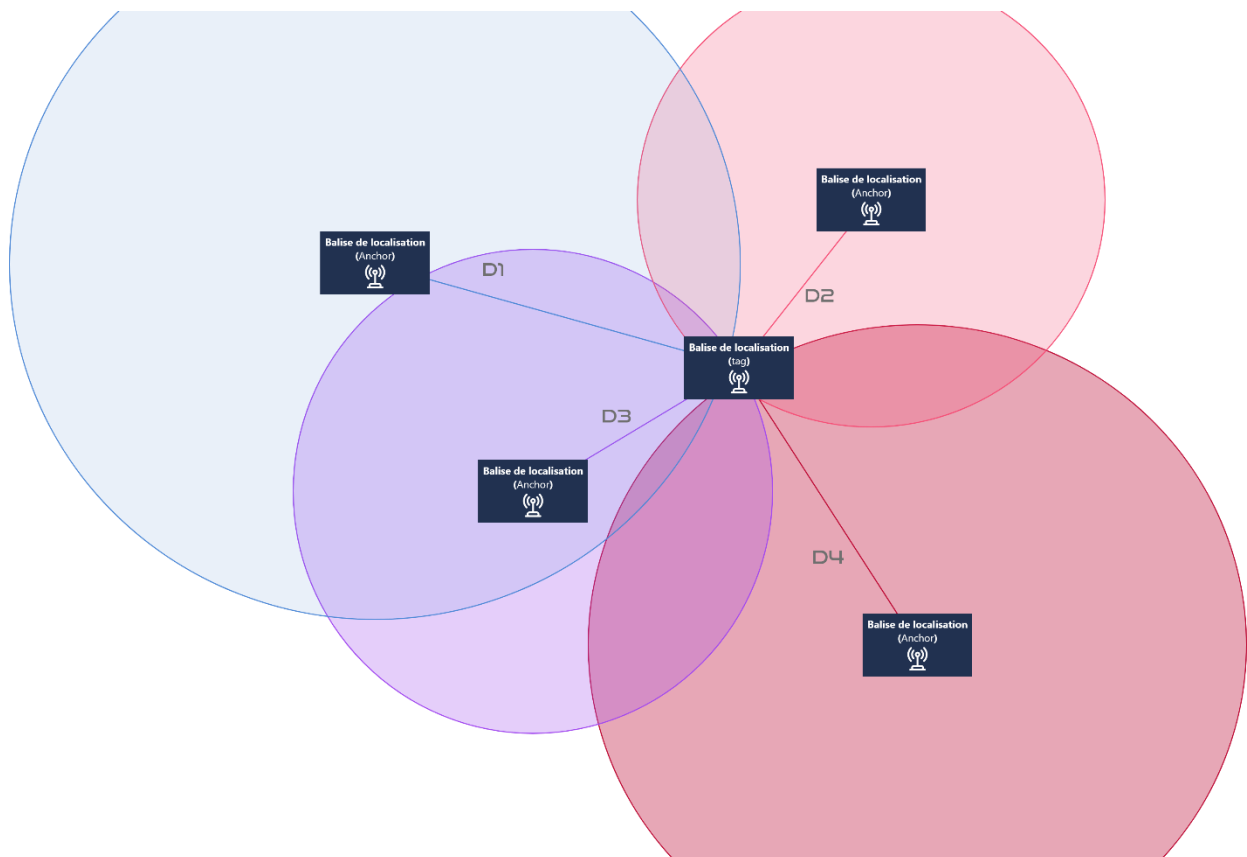


Figure 14. Fonctionnement des balises UWB

La difficulté principale a été de concevoir une électronique assez légère pour être embarquée sur le drone mais également assez puissante pour permettre le calcul de position qui est complexe. Il nous aura fallu trois révisions pour obtenir une électronique fiable et légère. La version 2 n'intégrait pas suffisamment de puissance de calcul ou surchauffait.

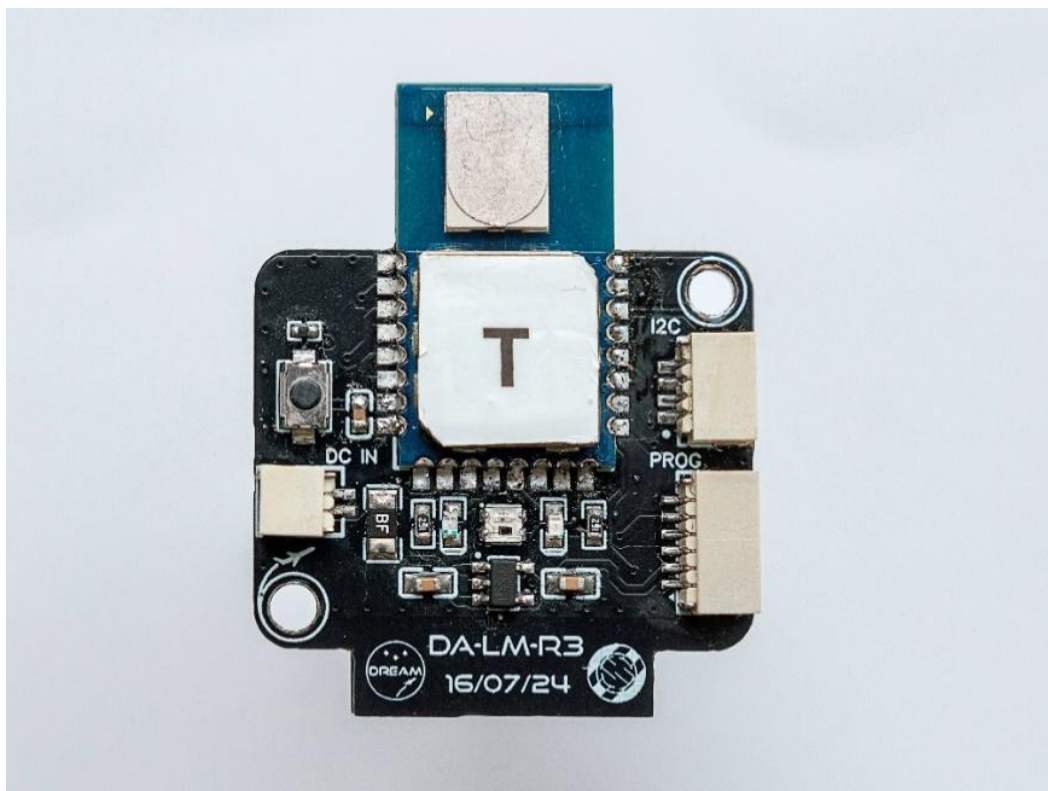


Figure 15. Photo d'une balise, révision 3

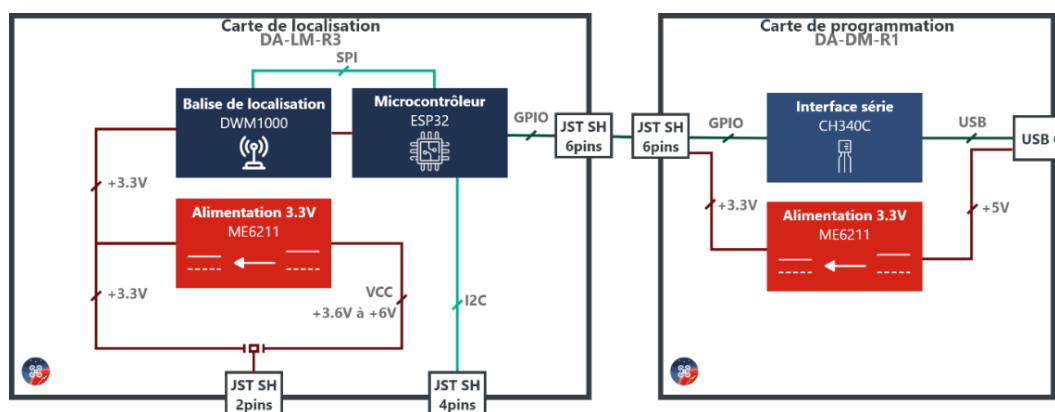


Figure 16. Schéma d'architecture des balises

Ce système de balises a permis d'obtenir une précision de positionnement comprise dans une sphère de 10 cm lors de nos tests initiaux. Cependant, lors des tests réalisés dans l'avion, nous avons observé une précision plus faible, de l'ordre de 15 cm, à cause de sauts de position. Cette dégradation du positionnement peut s'expliquer par le milieu métallique de la cabine de l'avion, ce qui a pu causer des interférences, ou les réflexions des signaux UWB, sur les parois.

7.5. Logiciels

Les différents codes du projet DREAM permettent le fonctionnement du drone, des balises, de l'application DREAM App et du système de communication. Cette section détaille les différentes parties et les défis des différents logiciels développés pour le projet.

7.5.1. Logiciel de vol du drone

Le logiciel de vol, qui s'exécute sur le contrôleur de vol, a été conçu pour gérer la lecture des capteurs, la stabilisation, les commandes de vol et les communications. Le drone utilise un système d'exploitation en temps réel FreeRTOS. Exploitant les deux cœurs du microcontrôleur, ce qui permet une répartition des tâches et une exécution en parallèle, le premier cœur est dédié à l'acquisition des données issues des capteurs et à la régulation du drone, les boucles de régulation qui doivent garder une fréquence précise, tandis que le second cœur gère la communication radio via le DREAM Link ainsi que la détection des erreurs.

La régulation du drone repose sur une structure de PID imbriqués, où plusieurs boucles PID permettent de contrôler le drone en fonction du paramétrage. Ces régulateurs permettent de piloter les moteurs pour maintenir la stabilité du drone dans des conditions de pesanteur variables.

En complément, le logiciel intègre de multiples filtres de Kalman, qui permettent de fusionner des données capteurs. Ces filtres permettent de réduire le bruit des mesures et d'obtenir des estimations précises de l'orientation et de la position du drone.

Le code est configurable depuis la base au sol pour tester différents modes de vol et méthodes de stabilisation. Cette adaptabilité permettait de configurer le drone pendant le vol parabolique.

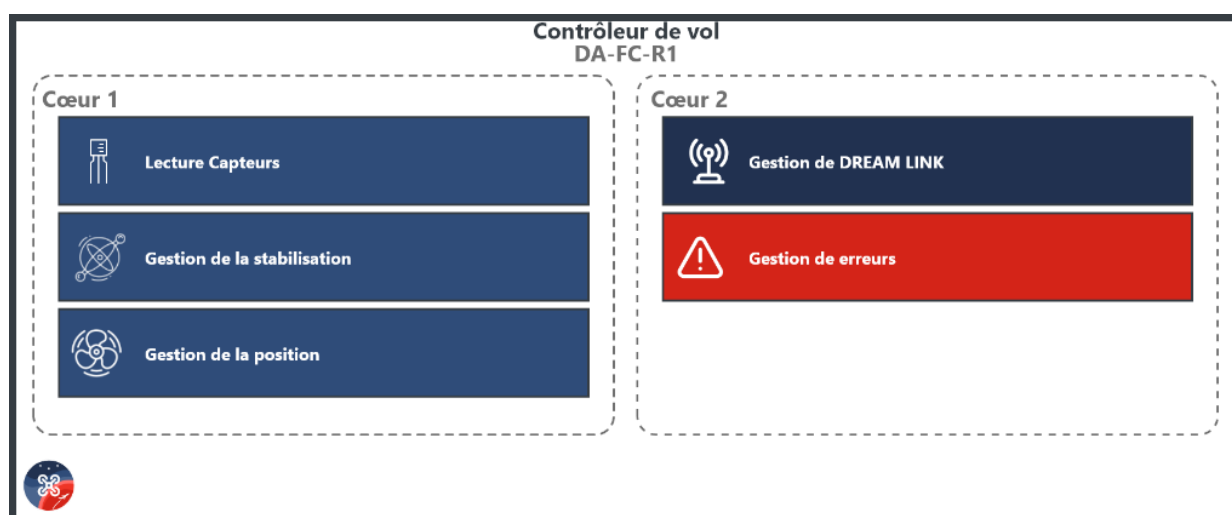


Figure 17. Schéma du fonctionnement logiciel

7.5.2.DREAM Link

Le DREAM Link assure une communication bidirectionnelle entre le drone et la base au sol, permettant d'envoyer des commandes et de recevoir en retour des paramètres de vol sur un ordinateur de supervision. Ce système repose sur une antenne embarquée dans le contrôleur de vol qui communique avec une base au sol et l'application DREAM App.

La communication DREAM Link utilise le protocole ESP-NOW. Le système offre également la possibilité de définir la fréquence de communication, ce qui permet d'adapter le débit en fonction des besoins de l'expérience. Le système prend en charge des transmissions synchrones et asynchrones à différentes fréquences pour différentes informations (position, hauteur, erreurs...).

7.5.3.Logiciel des balises

Le logiciel embarqué dans les balises de localisation permet de fournir au drone sa position dans l'espace de vol.

Ce système est divisé en deux parties distinctes, le logiciel des ancres (balises fixes) et celui du tag (balise embarquée sur le drone). Les balises fixes, sont disposées sur le filet de la zone de freefloat. Le logiciel intégré dans les balises fixes est relativement simple : il gère l'émission des signaux permettant de déterminer la distance entre chaque balise fixe et la balise tag. Le logiciel du tag est plus complexe, car il collecte les distances entre les ancres et le tag, calcule sa position, puis transmet cette position au contrôleur de vol via une liaison I2C. Le schéma ci-dessous illustre les différentes tâches logicielles nécessaires pour déterminer la position des balises.

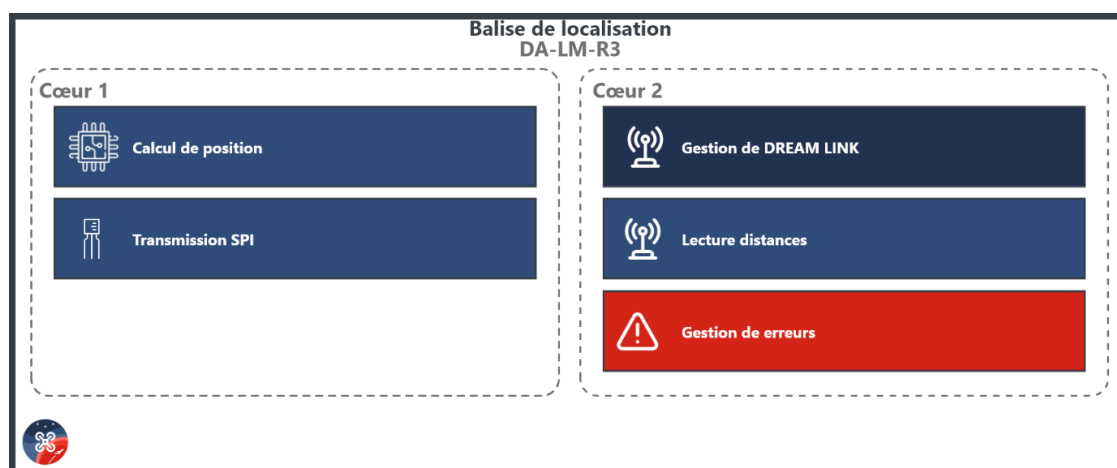


Figure 18. Schéma des tâches logicielles de la balise tag

Le tag mesure les distances entre lui-même et les ancres à l'aide des signaux UWB. Ces signaux permettent d'obtenir des distances, et au moins quatre d'entre elles sont nécessaires pour calculer la position 3D du drone dans l'espace de vol. La position du tag est calculée avec un algorithme basé sur la méthode des moindres carrés non linéaires, qui minimise la différence entre les distances mesurées et celles calculées à partir d'une position estimée. Ce qui permet de déterminer une position en prenant en compte les imprécisions des mesures.



Initialement, l'algorithme a été développé en Python pour valider les méthodes et effectuer des simulations. Une fois les calculs validés, il a été implémenté en C++ pour être exécuté sur le microcontrôleur du tag. Cette traduction a été complexe à cause des calculs matriciels sur un matériel embarqué. Les premiers tests mettraient plusieurs secondes par itération. Mais avec beaucoup d'optimisations comme la répartition des tâches sur plusieurs cœurs du microcontrôleur et l'amélioration des algorithmes de calcul matriciel, La balise peut calculer sa position à 5 Hz.

Les balises exploitent également le réseau DREAM Link pour communiquer avec la base au sol. Ce réseau permet de transmettre les positions calculées, d'effectuer la configuration et la calibration des balises, et de remonter des données diagnostiques et les erreurs.

7.5.4. DREAM App

L'application DREAM App développée en python sur PC pour le projet DREAM permet de superviser et contrôler l'expérience en temps réel grâce au système de communication DREAM Link. Cette application a une interface qui centralise toutes les opérations nécessaires au suivi et au modification de l'expérience. Elle permet de visualiser en temps réel la position du drone sur un graphique 3D, les paramètres du contrôleur de vol, ainsi que les modes de stabilisation et de positionnement. DREAM App permet effectuer la calibration des balises UWB et tester les capteurs avant chaque phase de vol.

De plus, l'application dispose d'une fonction d'enregistrement des données transmises par le drone via le DREAM Link. Les données collectées incluent la position, les états des capteurs et les paramètres de stabilisation.

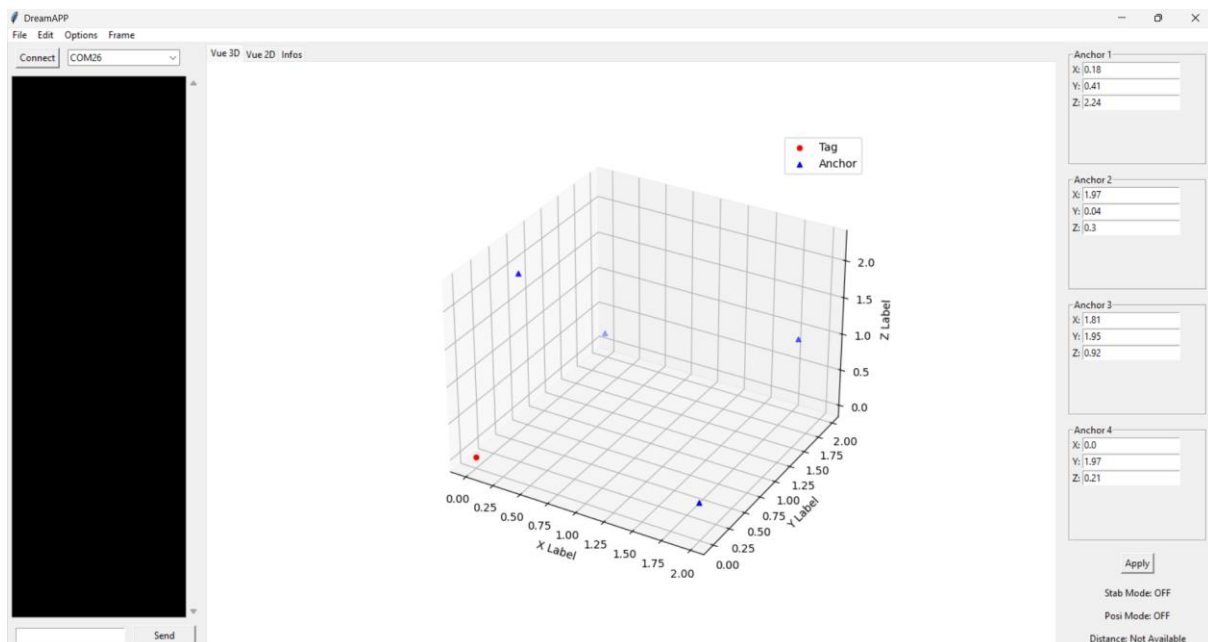


Figure 19. Capture d'écran de DREAM App

7.6. Contraintes et défis

Le développement du projet DREAM a nécessité de surmonter plusieurs contraintes techniques et défis, que ce soit au niveau de l'électronique, du logiciel ou de la mécanique.

Sur le plan électronique, l'intégration des différentes cartes électroniques a représenté un défi majeur. Le contrôleur de vol, par exemple, combine à la fois électronique de puissance, numérique et radiofréquence sur une carte de 4 cm de côté. La gestion de l'alimentation a également posé des défis importants. Avec l'utilisation d'un câble, et non d'une batterie, ce qui a nécessité beaucoup d'adaptation et de tests.

Au niveau logiciel, le développement a impliqué des tâches complexes, comme l'intégration de PID imbriqués et de filtres de Kalman en gardant une fréquence d'exécution stable. L'implémentation d'algorithmes de calcul de position a demandé d'apprentissage de nouveaux moyens de programmation et d'optimisation.



8. Protocole expérimental

8.1. Position initiale

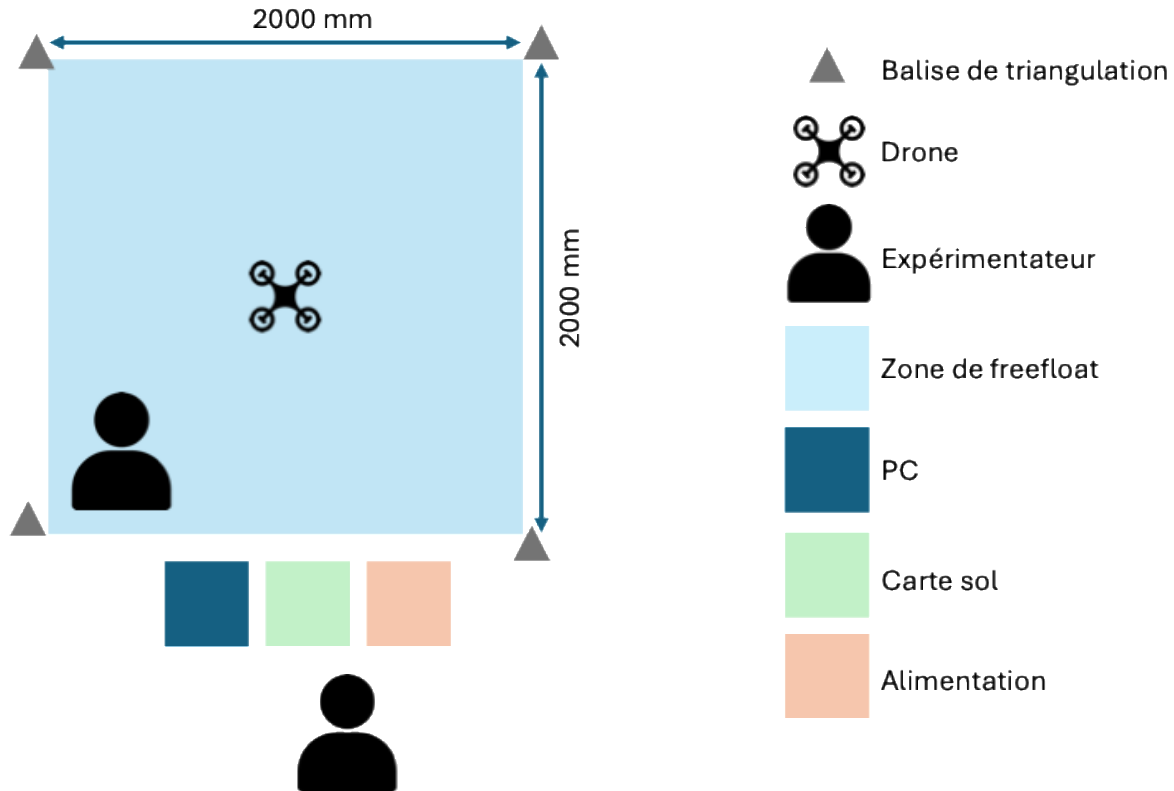


Figure 20. Schéma de la position initiale dans l'avion


Le drone était placé au centre de la zone de freefloat qui était entourée de filet. Le câble était tiré de la base d'alimentation, passait sous les tapis et sortait au centre de la zone. Quatre balises de triangulation étaient accrochées au filet : trois placées au sol, la quatrième, placée à 2 mètres de hauteur (au-dessus de l'expérimentateur). Un PC permettait de lire la position du drone donnée par les balises.

Deux expérimentateurs étaient présents :

- A l'extérieur de la zone de freefloat, qui peut contrôler le drone à l'aide d'une manette et qui peut lire les données en temps réel. L'un des expérimentateur possède la fiche protocole.
- A l'intérieur de la zone de freefloat, l'un des expérimentateur manipule le drone physiquement pour le replacer, et le préparer aux tests suivants.

8.2. Fiche protocole

Protocole expérimental V2

Parabole	ressource d'entrée (1,8g)	impesanteur (0g)	ressource de sortie (1,8g)	Intervalle (1g)
0		Drone en free float alimenté, moteurs à l'arrêt, lecture balise		
1		Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, depuis sol, par impulsion légère		
2		Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, lâché		
3		Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, lâché		
4		Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, lâché, drone manipulé		
5	Backup			
Pause de 5 min				
6		Déplacement du drone manuel, axe X, Y, Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, depuis sol		
7		Déplacement du drone manuel, axe X, Y, Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, lâché		
8		Déplacement du drone manuel, axe X, Y et Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, lâché, repositionné manuellement		
9	Backup			
10	Backup			
Pause de 5 min				
11		Déplacement du drone manuel, axe Y, moteur BL ON / moteur DC OFF, renversé, lâché		
12		Déplacement du drone manuel, axe Y, moteur BL ON / moteur DC OFF, renversé, lâché		
13		Déplacement du drone manuel, axe Y, moteur BL OFF / moteur DC ON, lâché		
14		Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL OFF / moteur DC ON, lâché, renversé		
15	Backup			
Pause de 8 min				
16	Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, depuis sol			Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, depuis sol
17	Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, depuis sol			
18			Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, depuis sol	
19			Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, depuis sol	
20	Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF,			
Pause de 5 min				
21				Déplacement du drone manuel, axe Z, moteur BL ON / moteur DC OFF, depuis sol
22		Déplacement du drone manuel, Rotation pour se renverser, lâché		
23		Déplacement du drone manuel, Rotation pour se renverser, depuis sol		
24		Evolution dans X, Y et Z, avec rotation		
25	Backup			
Pause de 5 min				
26	Backup			
27	Backup			
28	Backup			
29	Backup			
30	Backup			

Nous avons établi une fiche protocolaire résumant l'essai que nous devons réaliser à chaque parabole.



On retrouve une série de mot clé :

- Moteurs BL : moteurs brushless (moteurs principaux)
- Moteurs DC : moteurs transversaux
- OFF : éteint
- ON : allumé
- Axe : axe de l'avion. X allant de l'avant vers l'arrière de l'avion (l'expérimentateur est dos au cockpit), Y allant de l'aile droite à l'aile gauche, Z étant la normale au planché de l'avion.
- Lâché : drone lâché par l'expérimentateur présent dans la zone de freeflot
- Depuis sol : drone décollant depuis le sol de l'avion
- Manipulé : l'expérimentateur présent dans la zone de freeflot vient manipuler, toucher le drone afin de tester les corrections de vol.
- Renversé : drone placé à l'envers
- Rotation : le drone effectue une rotation afin de se retrouver en positions renverser
- Backup : parabole sans test déterminé, permettant d'effectuer un test s'étant mal déroulé ou de reparamétrer le drone.

9. Campagne de vol

9.1. Préparation avant le vol

La campagne de vol a eu lieu dans les locaux de Novespace du 30 septembre au 9 octobre 2024 suivant le planning :

Arrivée et découverte des locaux	30-sept
Intégration du matériel dans l'avion	31-sept / 04-oct
Conférence et découverte des projets	07-oct
Vol	08-oct

L'intégration du matériel dans l'avion est la tâche majeure de cette campagne de vol. En effet, les objectifs sont de :

- Finaliser le **formulaire expérimental** en effectuant les derniers tests de sécurité en présence de notre coordinateur technique à Novespace : Thomas Villatte
- Installer l'ensemble des équipements dans notre zone attitrée dans l'avion
- Effectuer des simulations de test en vol afin d'être prêt à tout éventualité
- Finaliser notre protocole expérimental en adéquation avec les contraintes mises en lumière lors de l'installation.

Le lundi de la semaine 2 permettait de rencontrer les acteurs du projet. Nous avons pu découvrir l'ensemble des expériences de la campagne de vol.

Le mardi de la semaine 2 était notre seul et unique vol de la campagne.



9.2. Essais en vol

Le vol s'est déroulé dans de bonnes conditions météorologiques au-dessus de la Bretagne. Nous avons pu effectuer la plupart de nos tests grâce aux paraboles backup bien qu'il y ait eu des problèmes. En effet, nous avons constaté des problèmes d'alimentations lors de nos tests. Celle-ci s'est mis, à trois reprises, en sécurité. Ce mode sécurité empêche l'utilisation du drone.

Essais à 1 G : Nous n'avons pas constaté de différence avec les essais au sol. Le drone se stabilise correctement, même quand l'expérimentateur tente de le déstabiliser.

Essais à 1,8 G : La stabilisation est grossière mais le drone arrive à se soulever à deux fois son poids. Nous pensons qu'une correction des gains du PID pourrait permettre d'obtenir une meilleure stabilisation. Cependant, il est à noter que l'accélération subit est d'environ 1,8 g et que celle-ci varie tout au long des ressources d'entrées et de sortie.

Essais à 0 G : Nous avons sous-estimé la force qu'exerçait le câble d'alimentation sur le drone. En effet, là où à 1 g le câble participait à la stabilisation du drone, à 0 g, celui-ci vient pousser le drone comme un ressort. On constate qu'en venant replacer le drone au milieu d'une parabole, le drone restait relativement mieux en place. Les essais en rotation fonctionnaient bien. Cependant, Nous n'avons pas réussi à stabiliser le drone sur toute une parabole.

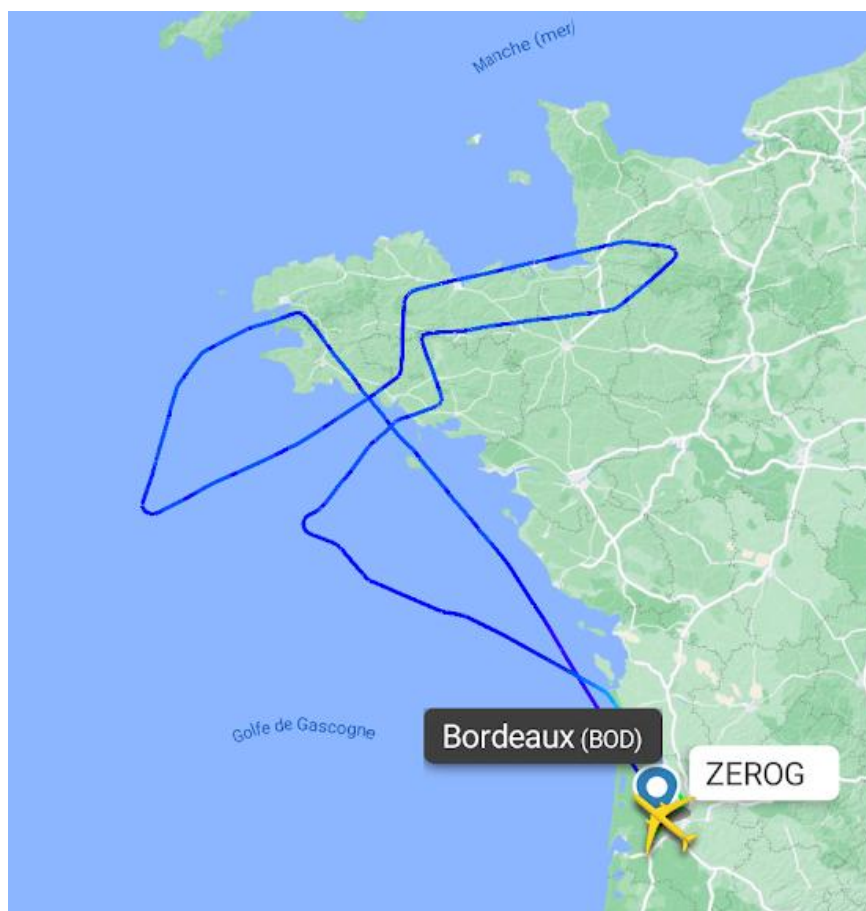


Figure 21. Plan de vol

Pendant nos essais en vol nous avons également enregistré la position calculée par les balises de positionnement.

Le graphique 3D ci-dessous représente des positions enregistrées par le drone DREAM dans l'espace de freefloat. Les balises fixes (ancres), représentées par des triangles bleus, définissent le cadre de référence spatial, les croix vertes illustrent les différentes positions du drone au fil du temps. Les mesures réalisées au cours des différentes paraboles montrent que le système de positionnement offre une précision moyenne de 10 cm, avec des variations atteignant 20 cm, probablement attribuée à des interférences électromagnétiques et la réflexion des signaux sur les parois métalliques de l'avion. Ces données confirment la fiabilité du système tout en soulignant des axes d'amélioration pour réduire ces écarts dans un environnement de micropesanteur.

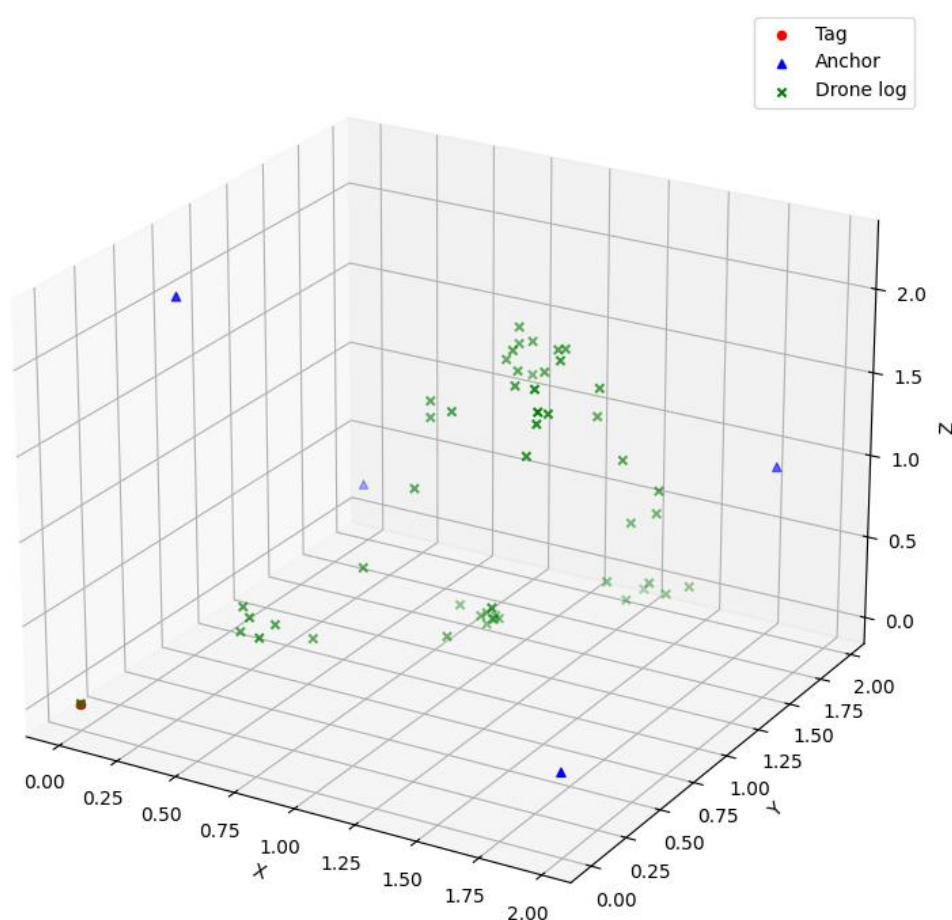


Figure 22. Affichage d'un enregistrement de position du drone sur une parabole

Conclusion

Le projet DREAM nous a offert une opportunité de concevoir, de développer et de tester un drone dans des conditions d'accélération modifiées à bord d'un vol parabolique. Ce défi, nous a permis de mettre en pratique nos compétences en électronique, logiciel, mécanique et gestion de projet, tout en acquérant de nouvelles connaissances.

Concernant la conception du drone et nos choix techniques, nous avons constaté un bon fonctionnement global de l'ensemble des systèmes électroniques, mécaniques et des solutions techniques développées pour le drone, sans problème majeur. Cependant, quelques mises en sécurité de l'alimentation du drone ont eu lieu durant le vol ce qui a perturbé nos tests mais sans conséquences critiques. Cette plateforme, entièrement développée, a permis de mener des expérimentations dans des conditions de pesanteur variable.

Les résultats obtenus, même s'ils sont imparfaits dans certaines phases comme la micropesanteur, démontrent la faisabilité de stabiliser un drone dans un environnement aussi exigeant. Le système de balises de positionnement, malgré les défis techniques qu'il représentait, a fonctionné de manière satisfaisante en fournissant une localisation du drone.

Cette expérience nous a également permis de confronter notre travail à des contraintes réelles, notamment les défis liés à l'alimentation en vol et à l'influence du câble sur la stabilité du drone.

Nous tenons enfin à renouveler notre gratitude envers le CNES, Novespace, ainsi que tous les partenaires qui ont rendu cette aventure possible. Ce projet a non seulement enrichi nos compétences techniques, mais aussi renforcé notre passion pour l'innovation dans le domaine de l'ingénierie, de l'aéronautique et du spatial.



10. Table des illustrations

Figure 1. Photo du drone en configuration de vol.....	5
Figure 2. Photo du démonstrateur d'avant-projet	7
Figure 3. Photo de l'expérience.....	8
Figure 4. Photo du drone DREAM	9
Figure 5. Première itération	11
Figure 6. Seconde itération évoluée vers le modèle final	12
Figure 7. Modèle 3D de la conception finale	13
Figure 8. Schéma d'architecture électronique	14
Figure 9. Photo du contrôleur de vol.....	15
Figure 10. Architecture du contrôleur de vol	15
Figure 11. Rendu 3D du régulateur 48V - 16V	16
Figure 12. Photo du boîtier d'alimentation	17
Figure 13. Architecture du boîtier d'alimentation.....	17
Figure 14. Fonctionnement des balises UWB.....	18
Figure 15. Photo d'une balise, révision 3	19
Figure 16. Schéma d'architecture des balises.....	19
Figure 17. Schéma du fonctionnement logiciel	20
Figure 18. Schéma des tâches logiciel de la balise tag	21
Figure 19. Capture d'écran de DREAM App	22
Figure 20. Schéma de la position initiale dans l'avion	24
Figure 21. Plan de vol	27
Figure 22. Affichage d'un enregistrement de position du drone sur une parabole.....	28

