
- DASSAULT UAV CHALLENGE -
Équipe Sea'gogne



Rozenn LE BIHAN
Axel RAYNOND
Rémy LABARRE
Matys BIECHE
Alexandre AMARO MONTEIRO
Txomin BISBAU

Professeur référent :
Monsieur OSTRE, Maître de conférence à SeaTech

2023-2024

Remerciements

Nous remercions tout d'abord notre professeur référent M. OSTRE pour son enthousiasme et son aide tout long de notre projet.

Nous souhaitons également remercier notre école d'ingénieur SeaTech pour les moyens mis à notre disposition.

Nous remercions tout particulièrement l'équipe encadrante du DASSAULT UAV Challenge pour l'opportunité qu'ils nous donnent en participant à cette compétition et les dispositifs mis en place pour nous.

Table des matières

Introduction	1
1 Présentation	2
1.1 Contexte et mission : sauvetage en mer	2
1.2 Fonctionnalités et diagrammes techniques	3
2 Réalisation fonctionnelle du drone	7
2.1 Structure du drone	7
2.1.1 Fuselage	7
2.1.2 Aile	8
2.1.3 Système moteur	11
2.1.4 Poutre de liaison entre le fuselage et les moteurs	13
2.1.5 Empennage	15
2.2 Contrôle du drone	16
2.2.1 Le contrôleur de vol : Ardupilot	16
2.2.2 Le choix du Pixhawk	17
2.2.3 Fonctionnement global du système utilisant Ardupilot	18
2.2.4 Communication par MAVlink	19
2.2.5 Avancement de notre drone	20
3 Réalisation de la mission : systèmes de sauvetage	22
3.1 Système de détection	22
3.2 Système de largage	23
4 Estimation du coût	26
5 État d'avancement du prototype	27
Conclusion	28

Résumé

Dans le cadre de la compétition DASSAULT UAV Challenge, notre équipe s'attelle à la conception d'un drone VTOL dédié aux opérations de sauvetage en mer. De la sélection de la structure au dimensionnement précis des composants, chaque étape de notre processus de développement est réalisée de manière à créer un drone aussi performant que possible, tout en répondant aux exigences rigoureuses définies par la compétition.

Grâce à la diversité de nos compétences et à nos recherches approfondies, nous avons fusionné nos connaissances dans le cadre de ce projet pluridisciplinaire. De la modélisation à la simulation, en passant par la programmation, l'automatisation et l'électronique, chaque domaine a été abordé avec une attention particulière. Notre objectif est de présenter un drone qui allie l'expertise technique à une approche globale pour répondre efficacement aux défis complexes du sauvetage en mer.

Abstract

As part of the Dassault UAV Challenge competition, our team is dedicated to designing a VTOL drone for sea rescue operations. From selecting the structure to precisely sizing the components, each step of our development process is carried out to create a drone that is as high-performing as possible, while meeting the rigorous requirements set by the competition. Thanks to the diversity of our skills and in-depth research, we have integrated our knowledge within the framework of this multidisciplinary project. From modeling to simulation, through programming, automating, and electronics, each domain has been approached with special attention. Our goal is to present a drone that combines technical expertise with a comprehensive approach to effectively address the complex challenges of sea rescue.

Introduction

Dans le cadre de la compétition organisée par Dassault, nous sommes fiers de présenter notre drone conçu pour répondre à des besoins en sauvetage en mer. Inspiré par l'engagement envers l'innovation et la sécurité, notre équipe a développé un drone à décollage vertical et atterrissage (VTOL) qui redéfinit les normes en matière de missions de sauvetage en milieu maritime.

Face aux défis complexes posés par les situations d'urgence en mer, notre drone VTOL offre une solution polyvalente et efficace. Doté de capacités de décollage vertical, ce drone peut être rapidement déployé depuis diverses plateformes. Sa conception a été minutieusement élaborée pour garantir une performance optimale tout en maintenant une empreinte écologique minimale.

Au-delà de la technologie de pointe, notre drone de sauvetage en mer est équipé de capteurs, d'une caméra et de systèmes de communication. Ces fonctionnalités avancées permettent au drone de localiser rapidement et avec précision les personnes en détresse en mer, fournissant ainsi des informations cruciales pour coordonner des opérations de sauvetage rapides et efficaces.

Nous sommes impatients de démontrer comment notre drone VTOL peut répondre aux exigences et à sa mission de sauvetage en mer. Notre engagement envers l'innovation, la sécurité et l'efficacité se reflète dans chaque aspect de ce projet.

Partie 1

Présentation

1.1 Contexte et mission : sauvetage en mer

Tout d'abord, nous avons à cœur la sécurité de nos côtes : l'école d'ingénieur SeaTech est ancrée dans l'environnement marin et maritime toulonnais. C'est pourquoi, nous voulons que notre drone porte assistance aux baigneurs. Ce drone serait particulièrement utile en période de forte pression des services de secours, notamment lors de la saison estivale. Le drone permet la détection du baigneur, avec le renvoi d'une coordonnée GPS aux sauveteurs, et l'assistance d'une bouée de sauvetage en les attendant. Ces informations sont représentées sous un diagramme bête à corne ci-dessous (1.1).

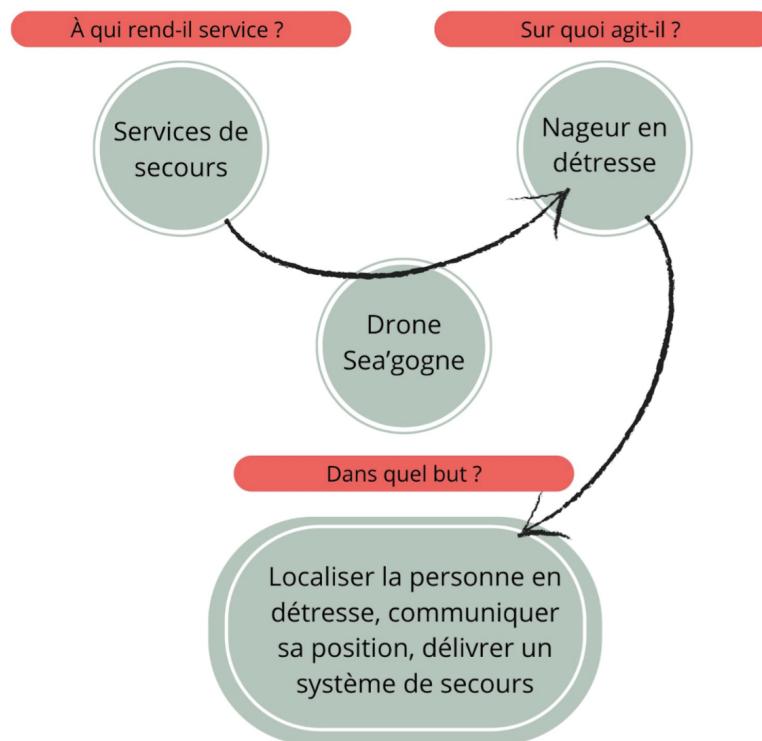


FIGURE 1.1 – Diagramme bête à corne

1.2 Fonctionnalités et diagrammes techniques

Diagramme des interacteurs

Les contraintes de notre drone sont particulières étant donné son fonctionnement VTOL et sa capacité à évoluer à proximité de la mer. Nous résumons ces contraintes liées aux interacteurs sous forme du diagramme suivant et du tableau de contraintes.

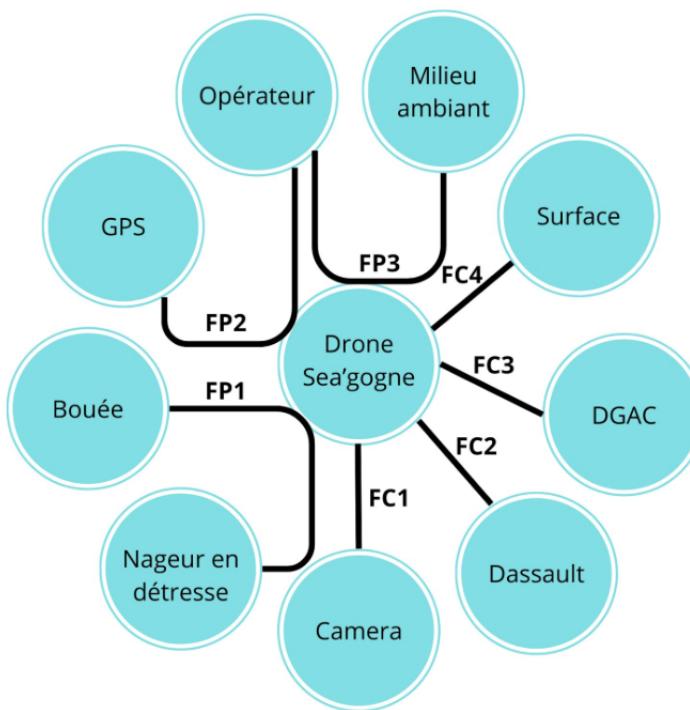


FIGURE 1.2 – Diagramme des interacteurs

FP1	Piloter le drone dans son environnement
FP2	Larguer la bouée de manière sûre et précise au nageur
FP3	Fournir la position du drone à l'opérateur et permettre à l'appareil de se rendre à un point précis
FC1	Visualiser l'environnement et détecter le nageur en détresse afin de se positionner
FC2	Respecter les contraintes obligatoires et importantes imposées par Dassault dans le cadre du Dassault UAV Challenge 2024
FC3	Respecter les normes de la DGAC appliquées aux UAV de catégorie C2
FC4	Décoller sur une distance courte et tout type de sol

TABLE 1.1 – Tableau des fonctions : principales et complémentaires

Contraintes détaillées

Les exigences que nous détaillons ci-dessous correspondent aux valeurs du prototype et peuvent donc être imparfaites ou simplifiées. Certaines valeurs seront donc sûrement à modifier à la suite de nos tests.

Fonctions de service	Critères d'appréciations	Niveaux d'appréciations	Limite d'acceptation	Classe
FP1	Propulsion (puissance moteur)	2x 300W	>2 x 300W min 80 m	F1
	Vitesse horizontal	80 km/h		F2
	Vitesse vertical	2m/s		F2
	Altitude (niveau mer)	120m		F1
	Portée communication	> 500m		F1
FP2	Capacité de charge	500g		F1
	Dispositif de largage	Gachette + Filin		F1
	Précision largage	+/-30cm		F1
FP3	Récepteur GPS	Position exacte	± 2m	F1
FC1	Caméra	Résolution de 1920x1080	F1 ± 0.5m	F1
	Précision du positionnement	Position exacte		F1
FC2	Bouton d'arrêt d'urgence	instantané		F0
	Suivre une trajectoire	Précision de 3m		F0
	Respecter un périmètre de vol	100x50x120m		F0
	Capacité de vol autonome			F0
	Retour du drone si perte de signal			F0
	Retour niveau batterie	Précision au pourcentage		F1
	Retour paramètres de vol			F1
FC3	Poids	< 4kg (classe C2)		F0
	Dispositif de signalement à distance	Portée de 1km		F0
	Fonction de géovigilance			F0
FC4	Système VTOL	Durée : 2 secondes		F0
	Switch mode avion-hélicoptère			F1

TABLE 1.2 – Tableau des contraintes détaillées

Diagramme FAST

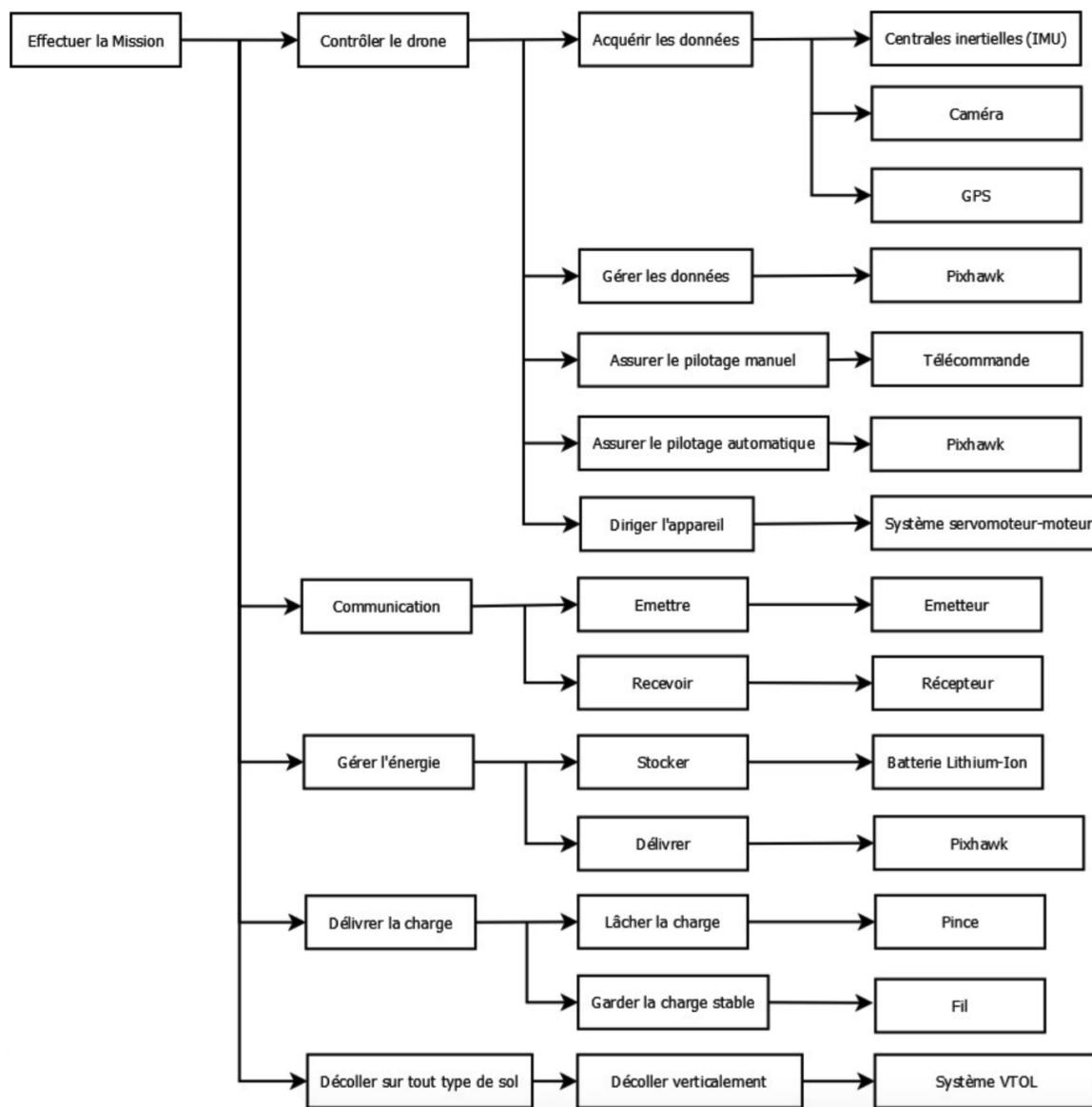


FIGURE 1.3 – Diagramme FAST

Diagramme cinématique

Nous avons réalisé le diagramme cinématique de notre drone afin de visualiser les différents actionneurs.

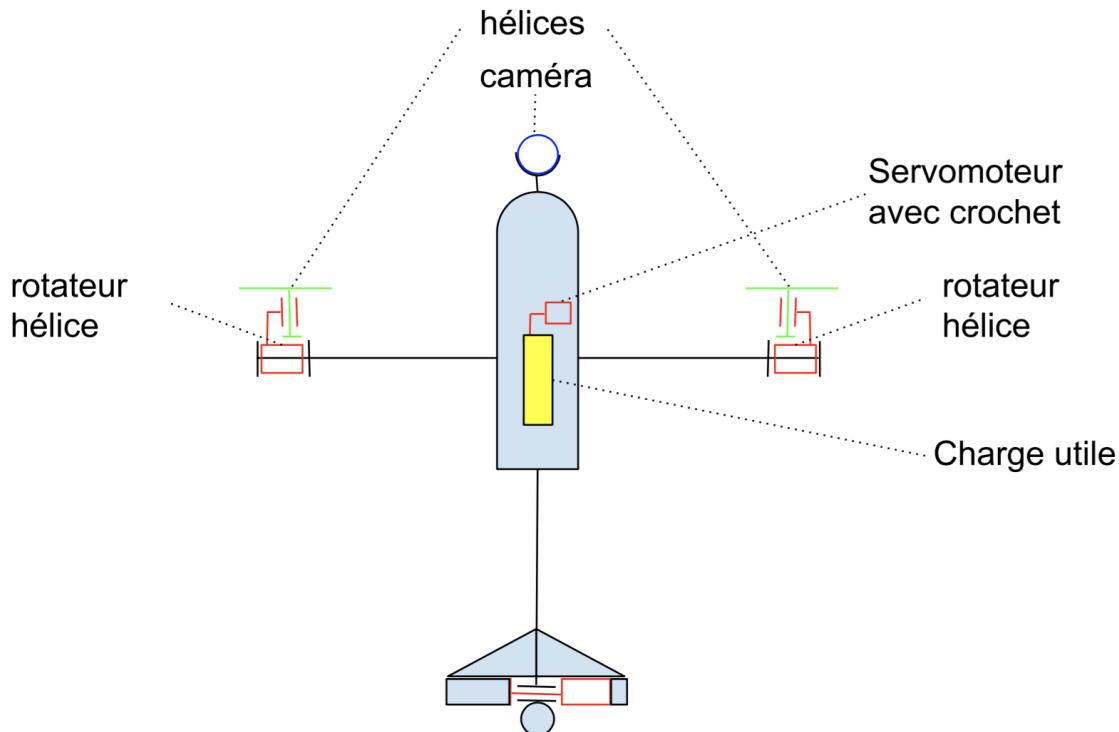


FIGURE 1.4 – Diagramme cinématique

Nous avons fait le choix de ne pas avoir de parties mobiles sur la voilure, laissant ainsi les servomoteurs et les moteurs aux extrémités des ailes gérer les axes de roulis, tangage et lacet. De la même manière, l'empennage vertical et horizontal est fixe. Le système de largage est quant à lui composé d'un servomoteur et est détaillé dans la partie (3.2). La caméra est située à l'avant de l'appareil et ne sera pas mobile, elle est orientée à la verticale de l'appareil pour pouvoir être placé au-dessus de la victime.

Partie 2

Réalisation fonctionnelle du drone

2.1 Structure du drone

Dans cette partie, nous présenterons la structure du drone et les choix qui ont été fait quant à cette dernière.

2.1.1 Fuselage

Pour le fuselage de l'avion, nous avons pensé à une base simple et modifiable selon l'avancée du projet. Elle reprend l'idée générale de la structure du VTOL développée par le Youtuber Tom Stanton. Pour allier tous nos objectifs de mission, le fuselage comprend plusieurs éléments qui pourront évoluer au fil de notre conception. La structure a été adaptée pour fixer une plateforme Pixhawk à l'horizontale, mais contiendra aussi la batterie et l'électronique embarquée.

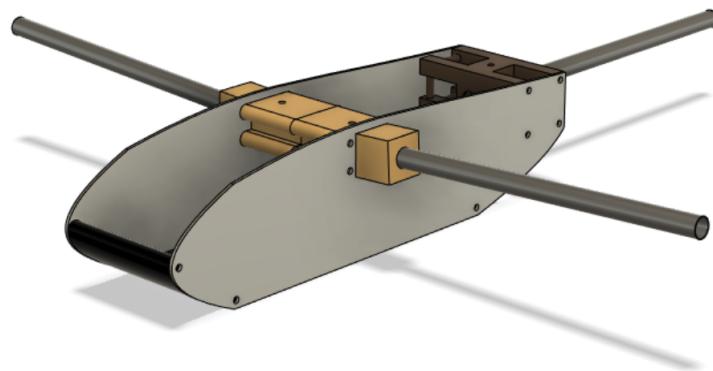


FIGURE 2.1 – Ensemble du fuselage

Elle comprend :

- Une clé d'aile comprenant une fixation pour le tube avec une inclinaison de 3 degrés ainsi qu'un espace central pour passer les fils des moteurs à l'électronique. L'inclinaison de 3 degrés de la clé d'aile va permettre d'optimiser la portance de l'aile sans en exagérer la traînée. De plus, elle a été étudiée pour résister aux contraintes mécaniques appliquées par les tubes sur la structure.



FIGURE 2.2 – Clé d'aile

- 2 plaques extérieures qui vont représenter une première protection pour l'électronique embarquée.
- Une pièce de fixation de queue permettant la fixation de l'ensemble tube-empennage. Elle a été conçue pour allier une réduction maximale de sa masse et une résistance maximale.

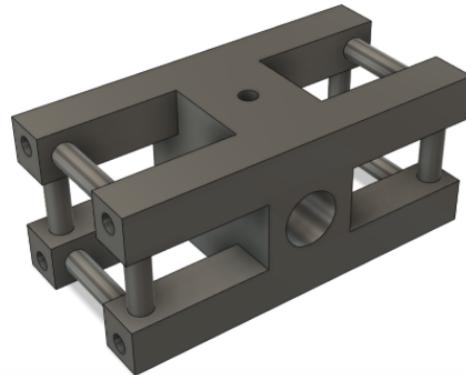


FIGURE 2.3 – Support de fixation du tube-empennage

- Un fond avec une fixation des composants électroniques et de la batterie.

Avec notamment la partie inférieure qui pourra évoluer pour avoir un emplacement pour la caméra et une adaptation pour le système de largage qui sera développé dans la partie (3.2).

L'impression 3D de la structure offre une fabrication personnalisée, rapide et économique. Elle va nous permettre la réalisation de pièces essentielles avec de la résine thermoplastique.

Nous avons choisi ce mode de réalisation car il favorise les essais avec une réalisation rapide. Cela nous permet aussi d'avoir des pièces plus légères tout en réduisant les déchets de production.

En somme, le calandre du VTOL est une composante essentielle qui répond à la fois à des contraintes fonctionnelles, de sécurité et d'esthétisme. Elle assure à la fois une structure rigide et la protection des systèmes embarqués tout en contribuant à l'aérodynamisme du drone.

2.1.2 Aile

Profil et dimensionnement des ailes

Pour le profil de nos deux ailes, nous avons choisi le profil NACA 4412. En effet, c'est un profil qui est stable sans décrochage brutal du coefficient de portance (2.4). D'autre part,

dans notre cas d'utilisation, nous ne faisons pas de voltige donc il n'aurait pas été judicieux de prendre un profil symétrique par exemple.

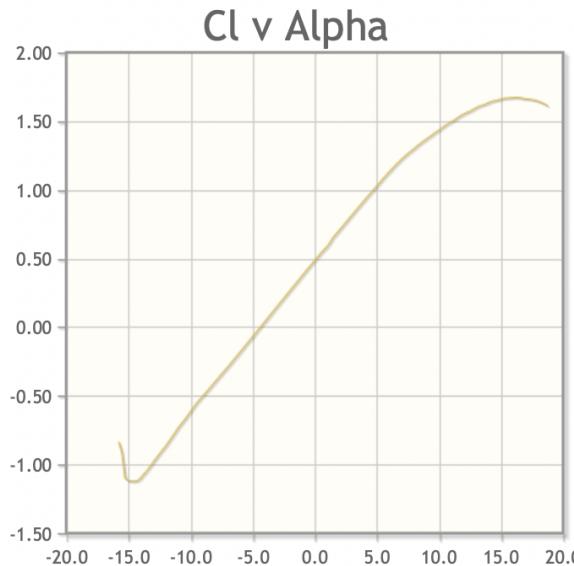


FIGURE 2.4 – Courbe du coefficient de portance en fonction de l’incidence

Nous avons par la suite calculé la surface à l’air de notre aile. Pour cela, nous avons utilisé l’expression de la portance.

$$F_p = \frac{1}{2} \rho S C_z v^2$$

Avec C_z le coefficient de portance.

Nous déterminons ainsi la surface.

$$S = \frac{2F_p}{\rho C_z v^2}$$

Nous réalisons les calculs lorsque la force de portance égalise celle du poids du drone : $F_p = P$. Avec une masse de $m = 1\text{kg}$, nous avons $F_p = 9,81\text{N}$. Nous choisissons un angle d’incidence de 6° ce qui nous donne un coefficient de portance $C_z = 1,2$ (d’après la figure 2.4).

Nous trouvons après application numérique une surface de $S = 1,265\text{m}^2$, avec $\rho = 1,292\text{kg/m}^3$ et $v = 10\text{m/s}$.

Nous décidons ainsi de dimensionner notre aile de 60cm de longeur et 20cm de large.

Conception de l’aile

Notre aile a été modélisé sur CatiaV5.

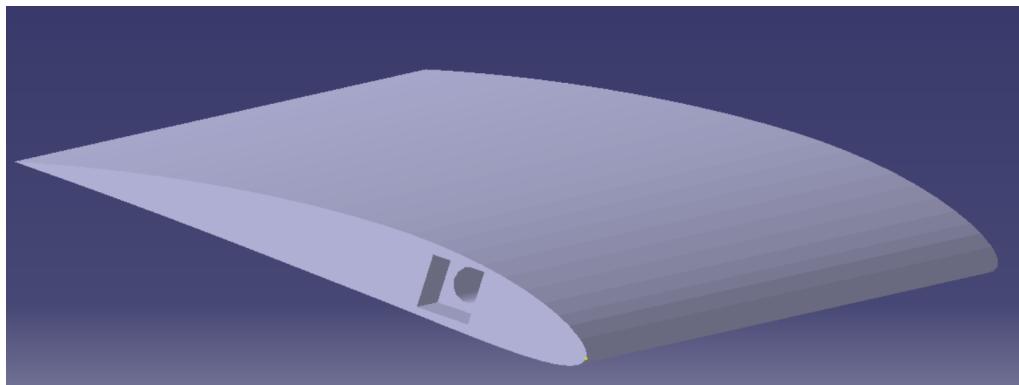


FIGURE 2.5 – Modélisation de l'aile sur Catia

Le carré visible sur la modélisation (figure 2.5) correspond à l'encastrement avec la clé d'aile (figure 2.2) qui permet de fixer la rotation de notre aile avec le fuselage.

Pour la fabrication de notre aile, nous avons choisi le polystyrène. Elle est découpée à l'aide d'une découpeuse à fil chaud.



FIGURE 2.6 – Aile en polystyrène après découpe

Afin de vérifier la précision de la géométrie de notre découpe, nous avons utilisé un scanner laser 3D. Cette machine réalise des mesures optiques avec une précision de $25 \mu m$.

Une fois la manipulation terminée, nous avons importé la modélisation de l'aile dans le logiciel qui a stocké l'aquisition (Inspector Premium) pour comparer la densité de points dans l'espace du modèle numérique et du modèle expérimental.

Nous avons obtenu des résultats très satisfaisant avec une différence inférieure à 0,3mm à certains endroits. Nous pouvons conclure que notre aile en polystyrène respecte bien le profil aérodynamique choisi.

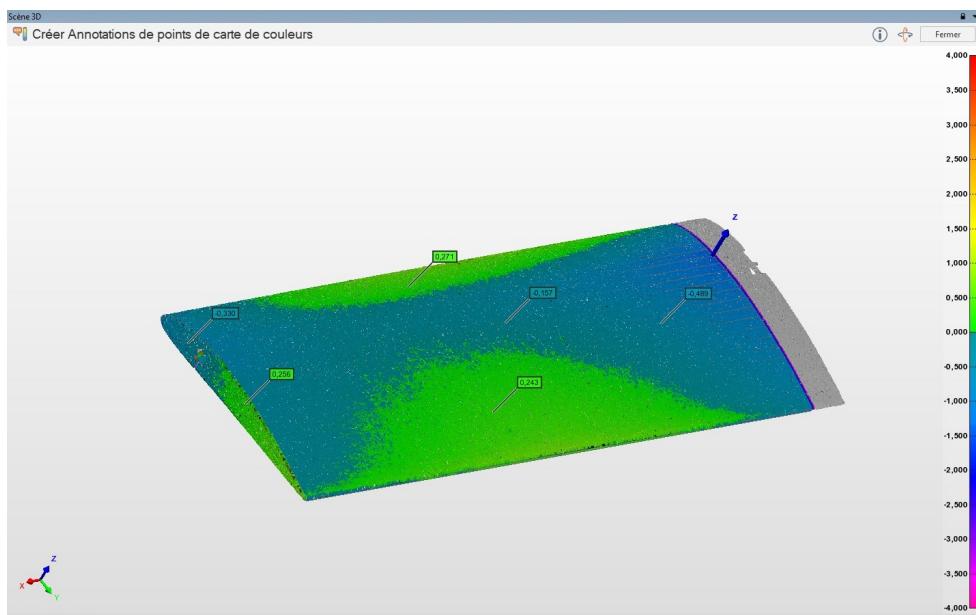


FIGURE 2.7 – Corrélation du modèle numérique et expérimental

2.1.3 Système moteur

Le système moteur a deux objectifs : diriger l'appareil en vol horizontal tout en assurant sa stabilité, et assurer un déplacement vertical du drone. Nous nous sommes alors penché sur la manière de concevoir le socle du moteur sur l'aile. Nous disposons de moteurs brushless. C'est pourquoi, nous avons adapté l'architecture du socle à ce moteur. Le système moteur ainsi conçu doit répondre aux critères de notre mission, c'est-à-dire décoller verticalement puis se déplacer horizontalement. Il est décrit par le schéma cinématique ci-après.

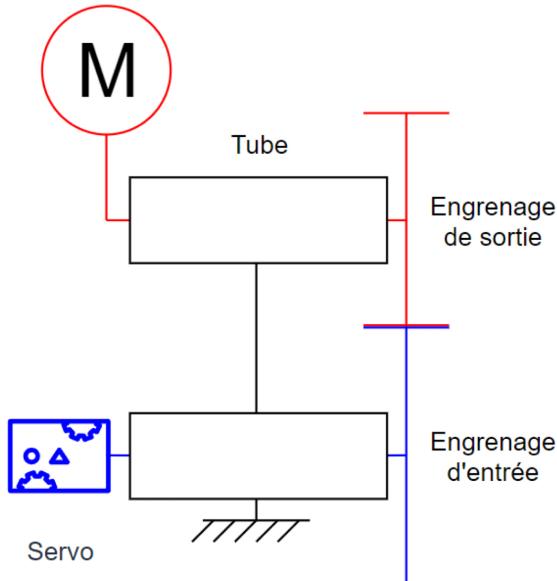


FIGURE 2.8 – Schéma cinématique du système moteur

L'idée consiste de permettre la rotation du socle moteur sur le support de l'aile, tout en minimisant l'espace qu'il utilise et en l'empêchant de glisser longitudinalement sur le support de l'aile. La rotation s'effectue à l'aide de deux engrenages. Le train d'entrée est mis en rotation à l'aide d'un servomoteur dont il faut créer un support également.

De là, 3 pièces sont à créer :

- Le support moteur (pièces 1)
- Support servomoteur (pièce 2)
- Des cales (pièces 3)
- Un engrenage (pièce 4)

Les pièces sont ainsi réalisées sous CatiaV5.

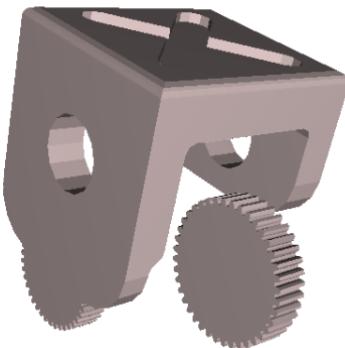


FIGURE 2.9 – Modélisation des pièces 1 et 4

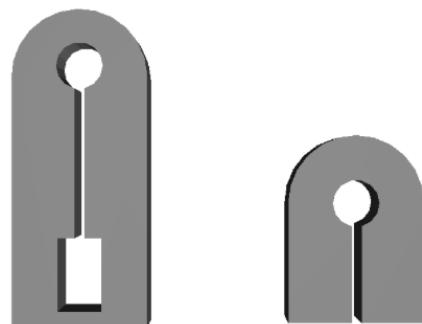


FIGURE 2.10 – Modélisation des pièces 2 et 3

2.1.4 Poutre de liaison entre le fuselage et les moteurs

Nos systèmes moteur sont reliés au fuselage par l'intermédiaire de tubes creux en aluminium. Pour cela, nous devons mener une étude pour choisir judicieusement les dimensions de ce tube.

Tout d'abord, nous choisissons un tube d'une longueur de 70cm qui prend en compte la longueur de l'aile (60cm) et le support moteur en bout de tube.

Dans un second temps, nous devons choisir le diamètre du tube. Nous avons donc fait une étude de résistance des matériaux afin de le déterminer en fonction de la limite d'élasticité de l'aluminium et les paramètres de notre système.

Cela nous a amené à calculer le diamètre dans trois cas (2.11) :

- Cas 1 : drone à l'arrêt, le tube supporte la force du poids (P),
- Cas 2 : drone en vol vertical, le tube supporte la force du poids (P) et la force moteur (F),
- Cas 3 : drone en vol horizontale, le tube supporte la force du poids (P) et la force linéaire de la portance (w) sur toute l'aile.

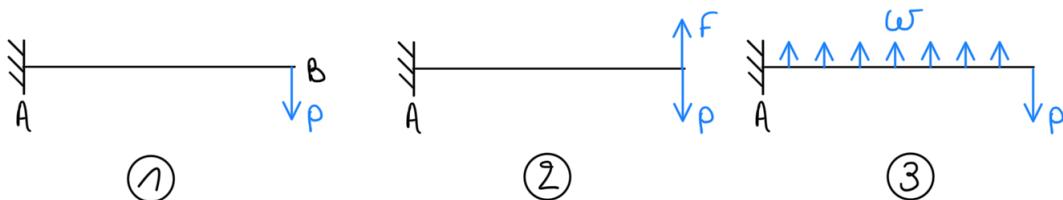


FIGURE 2.11 – Schémas des 3 cas d'étude de poutre en flexion

Les résultats analytiques nous ont guidé à choisir un tube avec un diamètre supérieur 8mm afin de ne pas dépasser la limite d'élasticité de l'aluminium. Nous sommes parti sur un tube de 12mm car nous en avions à notre disposition et qu'il nous semblait adapter à nos besoins. En effet, les fils électroniques pour le moteur et le servomoteur doivent pouvoir circuler dans le tube.

Nous avons retenu un tube de 12mm car :

- il permet le passage des câbles d'alimentation et de commande des servomoteurs et des moteurs
- nous en avions à disposition

Nous avons mené nos expériences avec le tube de 12mm. Nous confirmons sa géométrie grâce aux résultats qui suivent.

Simulation de la flexion du tube sur Abaqus

Avant de réaliser des expériences qui pourraient potentiellement endommager notre prototype, nous faisons une simulation informatique permettant d'évaluer l'ordre de grandeur du poids maximal applicable en bout d'aile sans déformation irréversible. Nous avons réalisé cette simulation sur Abaqus. Nous avons utilisé les modélisations du tube et de l'aile aux dimensions de notre prototype lors de l'expérience. Nous avons pris le module d'Young de l'aluminium $E=70\ 000\text{ MPa}$ et du polystyrène $E=3\ 000\text{ MPa}$, ne connaissant pas ceux exacts de nos matériaux.

Nous avons réalisé la simulation pour une force en bout de tube correspondant à notre masse maximale (530g) lors de l'expérience. C'est-à-dire une force $F=5,2N$.

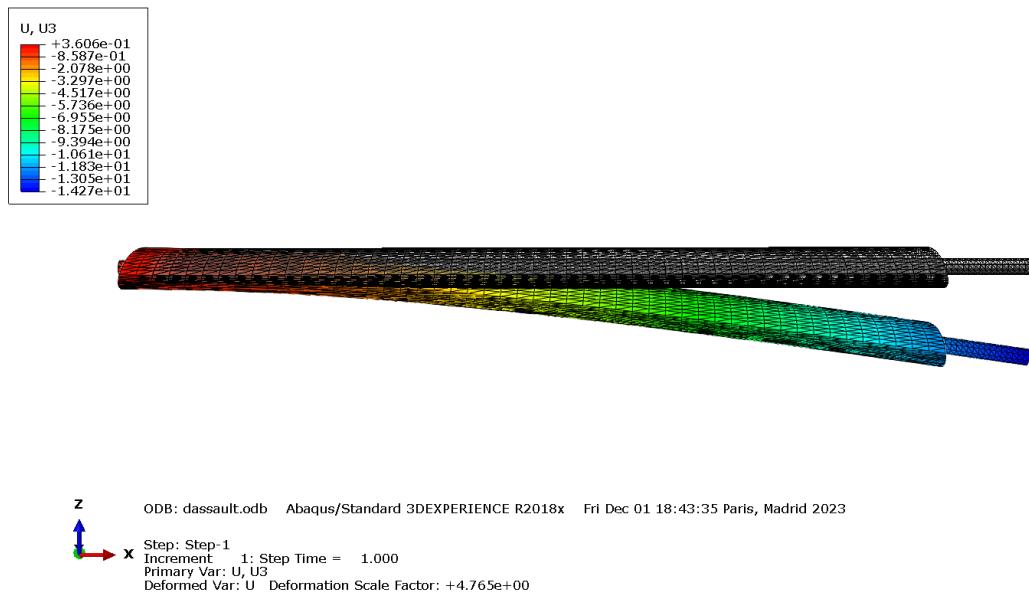


FIGURE 2.12 – Simulation sur Abaqus du déplacement du tube pour une masse de 530g

Nous obtenons un déplacement en bout du tube de 14,3mm.

Expérience de validation du dimensionnement du tube : contrainte de flexion

Le but de notre expérience est d'obtenir le déplacement de notre tube lorsque des efforts sont appliqués sur son extrémité libre. Pour cela, nous avons fixé l'extrémité du côté du fuselage pour avoir un encastrement. Nous avons réalisé notre mesure par photogrammétrie à l'aide d'une caméra. Nous avons mis en place des petites étiquettes, point blanc sur fond noir, qui servent de points de référence aux mesures.



FIGURE 2.13 – Montage pour l'expérience de flexion du tube

Nous avons d'abord fait l'acquisition d'une photo sans poids pour avoir la photo de référence. Puis, nous avons progressivement ajouter des masses au bout libre du tube pour réaliser plusieurs photos (130g, 230g, 330g, 430g, 530g). Sur le logiciel Gom Correlate 2018, nous avons sélectionné les points de référence sur l'image initiale. Puis, nous avons obtenu les résultats de flexion de notre tube pour les différentes masses.

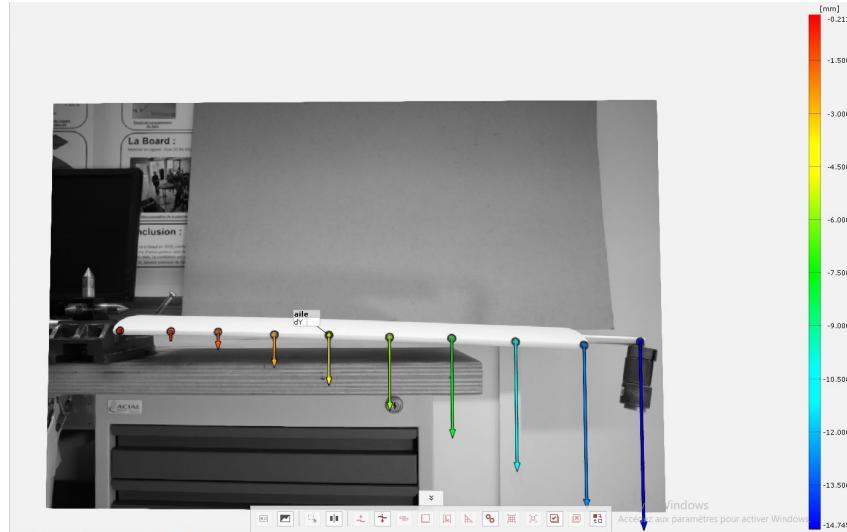


FIGURE 2.14 – Résultat du déplacement du tube pour une masse de 530g

Pour la masse la plus importante testée $m=530\text{g}$, nous avons obtenu un déplacement de 14,75mm. Ce résultat est satisfaisant car il confirme la cohérence du résultat obtenu par la simulation.

2.1.5 Empennage

L'empennage de notre drone est un empennage classique position basse. Cet empennage permet de stabiliser le vol de notre drone. L'empennage, comme les ailes, est en polystyrène. Il est découpé au fil chaud. Les gouvernes de profondeur sont mobiles. Elles sont actionnées par des servomoteurs situés dans le fuselage.

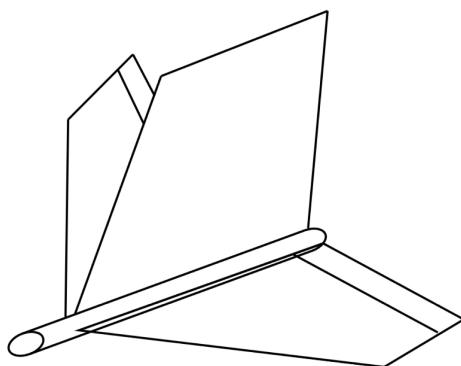


FIGURE 2.15 – Représentation de l'empennage

2.2 Contrôle du drone

2.2.1 Le contrôleur de vol : Ardupilot

Le pilotage de notre drone nécessite la présence d'un contrôleur de vol. Il nous est apparu naturellement le choix de Ardupilot.



Le choix d'Ardupilot

Ardupilot est un contrôleur de vol open source développé par une communauté active offrant une large gamme de configuration de vol. La sélection d'Ardupilot s'est faite sur la base de plusieurs critères. Pour notre VTOL nous avions besoin d'un logiciel éprouvé par la communauté des modélistes aéronautique. Une grande polyvalence était également requise pour pouvoir répondre à nos exigences techniques (le VTOL étant assez spécifique), avec notamment la partie vol autonome et la compréhension des données émises par nos composants électroniques.

1 - Fiabilité

Dans un premier temps Ardupilot répond à notre critère fiabilité avec sa grande base d'utilisateurs et de testeurs qui a fait de ce logiciel open source un des contrôleurs de vol les plus fiable et robuste disponibles actuellement. Avec sa capacité à gérer de nombreuses configurations de véhicules, il devient un choix promettant fiabilité pour notre configuration VTOL.

2 - Adaptabilité

Le contrôleur peut prendre en charge une large gamme de composants et de plateformes matérielles, ce qui nous permet d'avoir le libre choix sur les autopilotes tant qu'ils supportent Ardupilot. Cela nous a permis de choisir un autopilot précis répondant à nos besoins spécifiques.

3 - Fonctionnalités avancées

Finalement, ce sont les fonctionnalités avancées du contrôleur de vol qui nous ont convaincus.

De nombreux modes disponibles Ardupilot va proposer une large gamme de modes de vol autonomes. Cela offre un grand choix d'options pour contrôler le comportement de notre véhicule. Il inclut l'utilisation de modes tels que l'anti-décrochage de l'appareil, ou encore le mode "guidé par GPS" à une altitude donnée. Mais aussi le mode RTL (Return To Launch) qui va permettre un retour automatique au point de départ.

Planification de missions Ardupilot peut aussi prendre en charge la planification de missions. Nous pouvons alors en tant qu'utilisateur définir des waypoints (point de passage) et ou des trajectoires spécifiques pour notre VTOL. Cette extension nous permet d'établir des itinéraires précis répondant au cahier des charges de notre VTOL pour l'aide au sauvetage en mer.

Gestion de la localisation Avec une gestion avancée des paramètres du GPS, ArduPilot permet une navigation précise et fiable. Garantissant que le véhicule reste sur la bonne trajectoire, suive les waypoints et puisse effectuer des opérations de manière autonome en utilisant les informations de localisation.

Suivi en temps réel des paramètres La gestion de la télémétrie est aussi comprise par le contrôleur ArduPilot. Cela nous permet un suivi en temps réel des données de l'appareil au sol. Nous pouvons avec ce contrôleur de vol avoir la position GPS, l'altitude, la vitesse, l'état de la caméra et la tension de la batterie. Ces informations sont essentielles pour prendre des décisions en vol et pour assurer un contrôle précis du véhicule. Cela permet des décisions d'actions avec un maximum d'informations lors de la mission de sauvetage en mer (comme vérifier que le drone se situe bien au-dessus de sa cible).

De nombreux modes disponibles Le contrôleur ArduPilot comprend une fonction de stabilisation qui nous assure un vol stable lors de nos missions. Il aide à corriger les mouvements indésirables du véhicule pour minimiser le tangage et le roulis de l'appareil et ainsi maintenir une trajectoire précise. Un avantage du contrôleur consiste en la grande compatibilité avec des modules tiers. Cela nous permet d'étendre les capacités de notre VTOL en intégrant la caméra.

Ces fonctionnalités avancées d'ArduPilot nous permettent d'adapter notre VTOL en fonction de nos besoins spécifiques. De plus, étant open source, nous pouvons modifier le code générique pour l'adapter au mieux à nos composants embarqués.

2.2.2 Le choix du Pixhawk

Le choix de l'autopilote des caractéristiques du drone (motorisation, composants embarqués, taille disponible dans le fuselage) et des applications que l'on veut utiliser.

Nous avons alors dû définir des critères de sélection pour notre autopilote :

- Le nombre de sorties, assez pour avoir 2 servomoteurs et 2 moteurs.
- La possibilité de greffer des capteurs externes comme le GPS, la boussole et la télémétrie. Ces ports, appelés UART, permettent à la fois de recevoir et d'envoyer des données à ces capteurs.
- Les fonctions intégrées telles que les capteurs intégrés de surveillance de la batterie.
- Le nombre d'entrées/sorties (E/S) analogiques, nécessaires pour recueillir les informations du récepteur ou de l'état de la batterie.

Le Pixhawk s'est donc imposé à nous pour les raisons suivantes :

- Sa simplicité de mise en œuvre et son nombre de ports importants. Les ports sont variés (E/S, UART...) et spécifiques à chaque capteur et actionneur, nous permettant de remplir facilement certaines conditions essentielles imposées par Dassault (bouton shutdown, port GPS...).
- La présence et redondance de ses capteurs internes (accéléromètre, gyroscope, magnétomètre).
- Le prix contenu (trouvé à 112 euros).
- Son poids très contenu.
- Ses petites dimensions (8.2x4.3x1.7cm), le rendant facilement logeable dans le fuselage.

Au vu de ces éléments, nous avons fait notre choix sur le Pixhawk 2.4.8. Il satisfait en effet nos critères sur le nombre et la diversité de ces ports, ainsi que sur le critère du prix. Pour améliorer

sa fiabilité, nous pourrons lui ajouter des patins en caoutchouc afin de limiter la vibration et donc le bruit sur ses capteurs.

2.2.3 Fonctionnement global du système utilisant Ardupilot

Objectif Premier

L'objectif d'Ardupilot est d'assurer le contrôle de notre VTOL. Cela se fait soit de manière autonome, soit par l'intermédiaire d'un pilote au sol à l'aide d'une télécommande ou à l'aide d'un logiciel de contrôle au sol. Comme exprimé précédemment, nous avons choisi le boîtier Pixhawk comme solution d'interface entre Ardupilot et les capteurs.

Entrées

Les entrées du contrôleur sont transmises soit par une télécommande en fréquence radio, soit via un logiciel de contrôle au sol via un protocole Mavlink. Le récepteur radio fournit les entrées de roulis, de tangage et de lacet pour le contrôle de l'altitude. Il fournit aussi la puissance délivrée par les moteurs (l'accélération) et des instructions pour des fonctions supplémentaires telles que la rotation des moteurs ou une instruction de largage pour notre bouée (qui correspondra à un angle de rotation du crochet). Ces paramètres peuvent aussi être contrôlés via le logiciel de contrôle au sol dans une optique d'un appareil autonome.

Sorties

Les sorties sont les commandes activant la rotation des servos, la répartition de puissance sur les moteurs, les indicateurs sonores et le retour d'état global du drone (indications capteurs) à l'utilisateur.

Capteurs

L'attitude, la position, la surveillance du système d'alimentation et la vitesse du véhicule sont fournies par des capteurs présents dans le Pixhawk qui servira de relais physique entre Ardupilot et les actionneurs. Celui-ci comprend 2 accéléromètres, 2 gyroscopes et un magnétomètre intégrés. La redondance de ces capteurs permet de réduire le bruit en effectuant une "sensor fusion", soit comparer les différentes valeurs observées afin de les améliorer. Un GPS sera également présent en externe, relié à Ardupilot grâce au Pixhawk.

Quelques précisions sur les composants :

ESC (Electronic Speed Controller) : Il sert de variateur pour distribuer la puissance aux moteurs sur les ordres du contrôleur de vol.

Jetson Nano : Ordinateur compact pour traiter le retour caméra. Il calcule l'emplacement du nageur en détresse et donne l'information à Ardupilot.

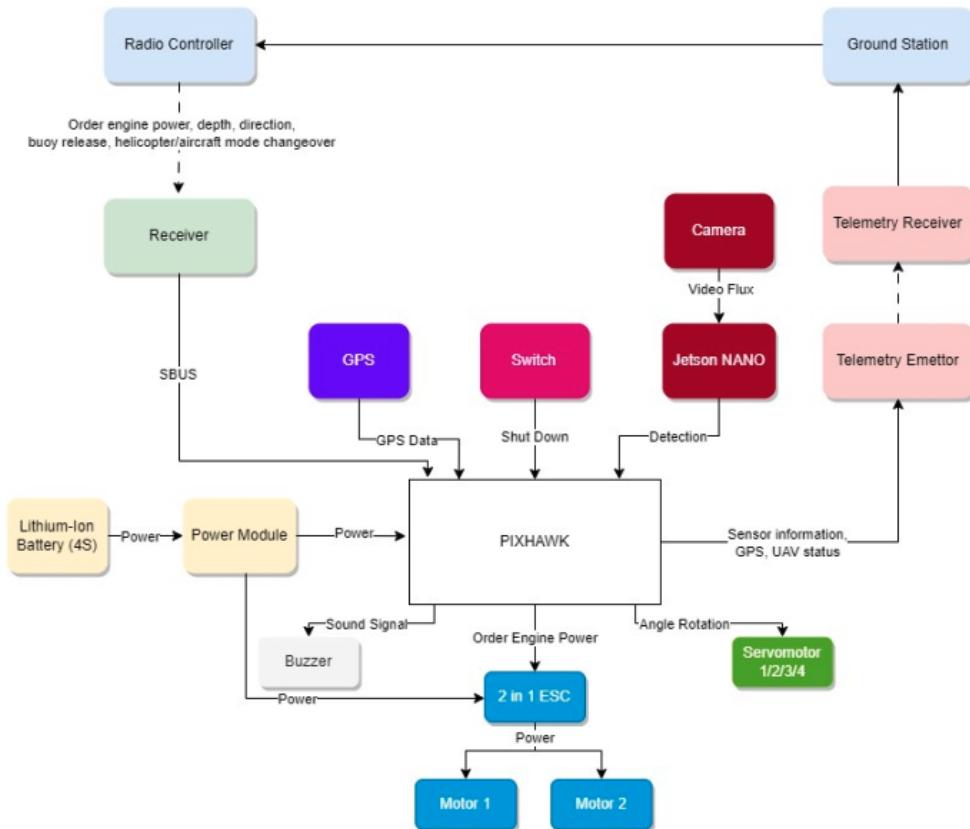


FIGURE 2.16 – Schéma du système électronique

2.2.4 Communication par MAVlink

MAVlink est un protocole de communication légère et open source conçu pour les systèmes de drones. Il offre plusieurs avantages par rapport à une simple commande radio pour la transmission de données avec un drone. Voici quelques-uns des avantages clés :

- **Communication Bidirectionnelle** : MAVLink permet une communication bidirectionnelle entre le contrôleur au sol (par exemple, une station de mission ou un ordinateur) et le drone. Cela signifie que des informations peuvent être transmises dans les deux sens, ce qui est essentiel pour des applications avancées telles que la télémétrie en temps réel, la planification de missions, la réception de données du drone, etc.
- **Richesse des Données** : MAVLink prend en charge la transmission d'une variété de données, y compris la télémétrie, les données de capteurs, les commandes de vol, les informations de mission, etc. Cela permet un contrôle plus précis et une surveillance approfondie des performances du drone.
- **Interopérabilité** : MAVLink est un protocole ouvert, ce qui signifie qu'il peut être utilisé avec une variété de drones et de systèmes au sol provenant de différents fabricants. Cela favorise l'interopérabilité entre les différents composants du système.
- **Extensibilité** : Le protocole MAVLink est extensible, ce qui signifie que de nouveaux messages et fonctionnalités peuvent être ajoutés au protocole pour prendre en charge de nouvelles capacités sans avoir à redéfinir l'ensemble du protocole.
- **Logiciel Open Source** : MAVLink est un projet open source, ce qui signifie que son code source est accessible et modifiable par la communauté. Cela favorise le développement collaboratif et permet aux utilisateurs de personnaliser le protocole selon leurs besoins spécifiques.

Gestion d'une Mission : MAVLink prend en charge la planification de missions, ce qui permet de définir des itinéraires spécifiques que le drone doit suivre. Cela ouvre la porte à des applications telles que la cartographie aérienne, la surveillance de l'agriculture, la collecte de données environnementales, etc.

L'utilisation de MAVLink offre une communication plus sophistiquée, une flexibilité accrue et une meilleure intégration entre les composants du drone, ce qui le rend plus adapté à des applications avancées et à des cas d'utilisation complexes.

Choix de notre Ground Control Station

Le Ground Station software (GCS), ou le logiciel de contrôle au sol, va être le logiciel nous permettant de configurer le système de pilotage automatique et de surveiller et contrôler tous les aspects du VTOL. Comme notre VTOL est utilisé avec une télécommande, le logiciel de contrôle au sol n'est pas absolument nécessaire pour le vol ainsi que sur certains aspects du fonctionnement du véhicule, gérés par le contrôleur de vol(Ardupilot). Cependant nous avons fait le choix d'en utiliser un. Nous utilisons un GCS poussé, un desktop GCS. Cela nous permet un accès aux nombreux paramètres de notre VTOL, ainsi que des options de débogage.

Nous nous sommes tournés vers un GCS accessible et fonctionnant bien sur toutes nos plateformes. Nous avons choisi QGroundControl qui est une interface utilisateur facile d'accès. Caractéristique supplémentaire, et preuve de sa fiabilité, il est le GCS le plus courant sur les systèmes reposant sur Android et permet une bonne mise en page sur les petits appareils tels que les téléphones ou tablettes.

2.2.5 Avancement de notre drone

Build Arduipilot pour un pixhawk4 réussi

Pour ce qui est de l'avancement actuel du développement de Ardupilot nous avons accompli plusieurs builds réussis d'Ardupilot pour un contrôleur de vol Pixhawk4. Cela marque une étape significative dans l'avancement de notre projet de VTOL. Ce succès représente une convergence réussie de multiples éléments critiques du projet. Cela signifie que notre code pour notre VTOL a été converti avec succès en une forme exécutable, prêt à être testé et utilisé dans des environnements pratiques. L'adaptation du code d'un tricopter avec deux moteurs inclinables adapté en code pour un bi-copter avec deux moteurs inclinables s'est révélée être viable.

Lorsqu'un build d'Ardupilot se réalise avec succès, cela témoigne de l'intégration réussie du code source, des configurations système et des dépendances logicielles. Cette avancée valide la conformité de notre code aux normes de programmation, la prise en charge correcte des périphériques matériels du Pixhawk4 et l'absence d'erreurs majeures pendant le processus de compilation.

Ce succès ouvre la voie à des phases ultérieures du projet sea'gogne, notamment la configuration spécifique du véhicule, les tests en simulation et sur banc d'essai, ainsi que les vols d'essai réels. Le firmware Arduipilot, une fois compilé avec succès n'a plus qu'à être chargé sur la plateforme Pixhawk4. On pourra alors commencer les essais pratiques et tester le contrôle du drone via la télécommande et le GSC. L'accomplissement du build joue un rôle crucial dans l'atteinte de nos objectifs de performance et de sécurité du VTOL.

Cette réussite représente donc un progrès significatif vers la réalisation de notre VTOL. Cela fournit une base solide pour le développement, les tests et la mise en œuvre des fonctionnalités nécessaires à l'accomplissement des missions aériennes.

Partie 3

Réalisation de la mission : systèmes de sauvetage

3.1 Système de détection

Notre mission consiste à envoyer le drone de manière autonome pour déposer une bouée à proximité d'une personne en mer.

Nous devons donc avoir un moyen de détecter des individus dans un périmètre donné. Nous avons donc opté pour une détection par caméra de la personne.

Le choix le plus simple et le mieux adapté serait d'utiliser une caméra thermique pour détecter les zones chaudes. Il suffit donc de repérer ces zones et d'envoyer une image de confirmation à la station de contrôle pour s'assurer qu'il s'agit bien de la personne à secourir. Cela présente l'avantage d'être très simple à mettre en place et fonctionne de jour comme de nuit. Cependant, le coût de ces caméras est trop élevé dans le cadre de notre projet, il nous est alors impossible d'en acquérir une d'une résolution suffisante cette année.

Nous avons donc opté pour une approche avec une caméra classique couplée à un algorithme d'apprentissage supervisé de détection d'objet. Afin de déterminer si la technique pouvait fonctionner, nous avons pris nos nageurs les moins frileux et les avons photographiés dans la mer sous différents angles. Au total, nous avons recueilli plus de 1000 images que nous avons annotées avec une seule classe (noyé), soit un total de 2000 instances de nageurs que nous avons fournies à notre intelligence artificielle. Nous avons utilisé YOLOv8, version la plus récente de YOLO, qui présente l'avantage d'être plus simple à entraîner que Darknet YOLO.



FIGURE 3.1 – Image d'origine



FIGURE 3.2 – Image après détection du noyé

Nous avons choisi la version "medium" de YOLOv8, car elle offre un bon compromis entre

le nombre de paramètres et la performance de détection.

L'algorithme a ensuite été utilisé sur quelques vidéos inconnues du modèle, le tout tournant sur une GTX 1070. Il a ainsi pu détecter avec succès les zones où se trouvaient des personnes dans l'eau, ainsi qu'un pourcentage de confiance.

Les résultats étaient excellents grâce aux conditions de visibilité quasi identiques à l'apprentissage, mais nous pouvons sans problème étendre la base de données en changeant d'endroit, d'heure et de météo afin de garantir une détection optimale pour toutes les conditions. Nous sommes conscients que nous n'aurons pas une puissance de calcul aussi importante qu'une GTX 1070 sur notre drone en raison des coûts et du poids. Cependant, il reste des étapes importantes d'optimisation telles que la quantification et l'élagage, le passage de python à OpenCV en C++. De plus, nous ne sommes pas contraints de faire tourner le modèle à 60 fps, car les images seront sensiblement les mêmes. En cas de temps de traitement trop long, nous pouvons toujours passer à un modèle plus léger, mais dans notre cas, il est préférable de prendre plus de temps pour faire une inférence plutôt que mettre peu de temps, et avoir des détections manquées.

3.2 Système de largage

Le système de largage doit remplir deux objectifs :

- Maintenir la charge utile durant le vol et les manœuvres.
- Larguer la charge utile de manière sûre.
- Pouvoir tracter la charge utile jusqu'au nageur si elle se déporte lors de son largage.

Avant de répondre à ces critères, nous avons dû décider où positionner la charge. Nous avons choisi de la placer sous le fuselage plutôt qu'à l'intérieur, cela nous permet en effet de disposer de davantage de volume pour les composants électroniques et d'optimiser le profil de l'appareil. De plus, si l'on veut varier les dimensions de la charge utile, il est plus aisément de fixer cette dernière sous le fuselage, ce qui n'entraînera pas de grosses modifications structurelles. Afin de ne pas affecter de manière importante les déplacements de l'appareil, la charge est disposée au niveau de la clé d'aile, là où nous essayerons de fixer le centre de gravité de l'appareil.

La charge utile dans le cadre de notre mission sera une bouée autogonflante de la marque OneUp. Son étui est un cylindre de 17cm de long pour 5.7cm de diamètre, le tout pour un poids de 370 grammes. Afin de remplir la contrainte de Dassault d'emporter une charge utile de 500 grammes, nous testerons notre largage avec un cylindre de mêmes dimensions que l'étui mais avec une masse de 500 grammes.



FIGURE 3.3 – Pochette contenant la bouée gonflable de la marque OneUp

Le système de largage est constitué d'une nacelle placée sous le fuselage. Le système est

simple : le servomoteur présent à l'avant de la nacelle manipule un crochet qui, en vol, maintient le plancher de la nacelle fermé. Le plancher sur lequel repose la bouée est donc relié à la nacelle par une liaison pivot libre, et est uniquement retenu en position fermée par la pression exercée par le crochet. Des ressorts le relient également au sommet de la nacelle mais sont insuffisants pour, par leur simple traction, maintenir le plancher fermé lorsque la charge est placée dessus. Dans le cas où lors du largage de la bouée une rafale l'entraînerait loin du nageur en détresse, nous avons fait le choix d'accrocher un fil à la bouée, relié à son autre extrémité par une simple boucle autour du crochet.

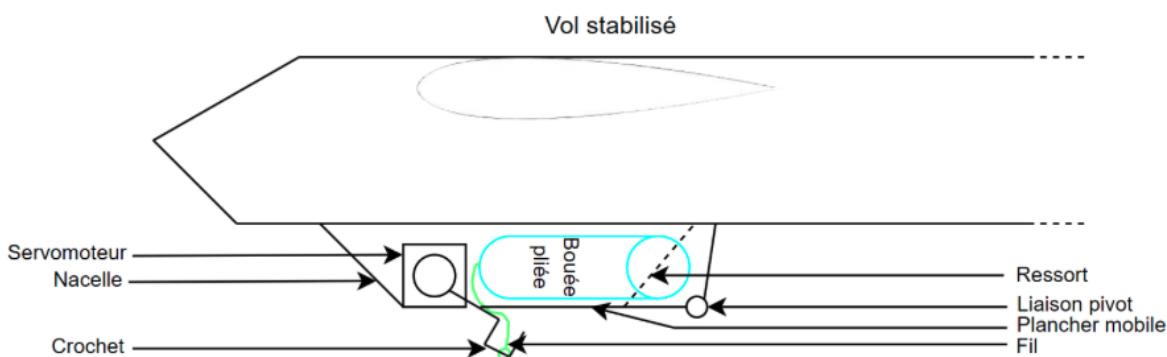


FIGURE 3.4 – Schéma du vol stabilisé

Lors du largage, le servomoteur abaisse le crochet afin de libérer la pression contre le plancher, celui-ci s'abaisse alors et la bouée tombe librement. Afin d'éviter que le fil ne se tende lors de la chute et cause des dommages au drone, il faut s'assurer de larguer la charge à une hauteur inférieure à la longueur du fil. La bouée touche alors l'eau et se gonfle seule, toujours maintenue par le fil au crochet.

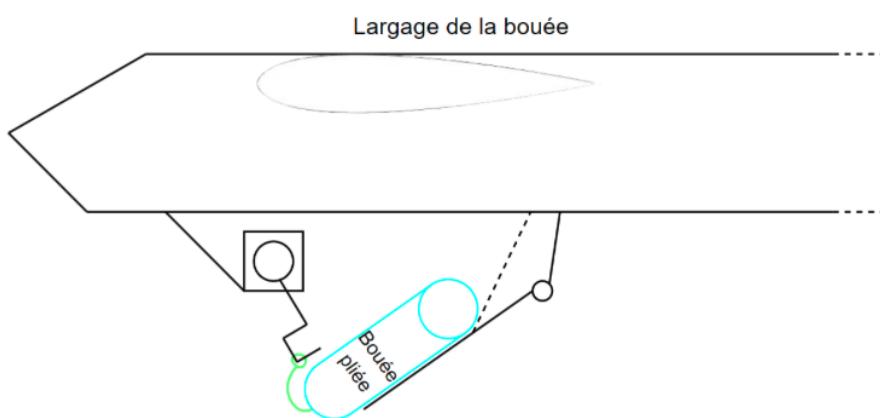


FIGURE 3.5 – Schéma de l'étape de largage de la bouée

Deux cas s'offrent alors : soit la bouée est suffisamment proche du nageur qui la récupère directement, soit la bouée n'a pas atterri à l'emplacement voulu et il est nécessaire de la tracter vers le nageur (dans la mesure des capacités du drone et de la force des vagues).

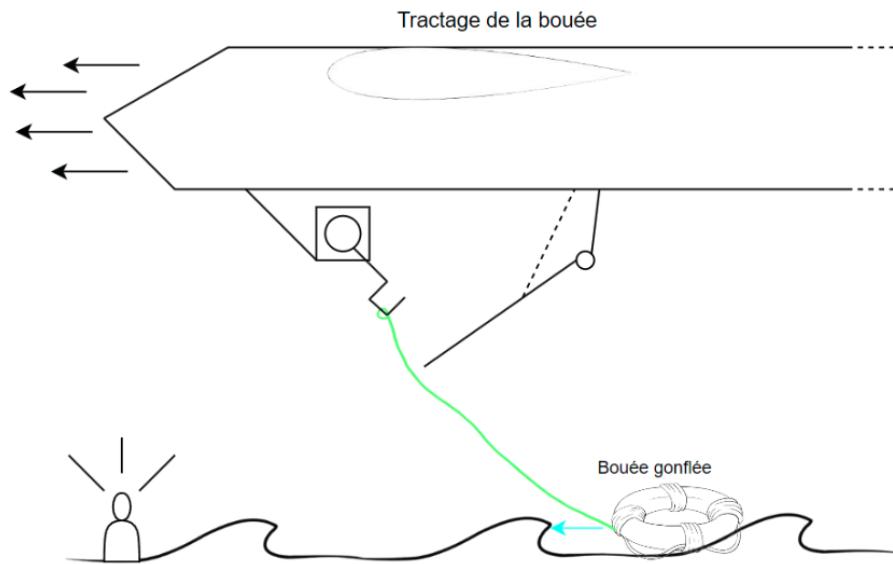


FIGURE 3.6 – Schéma du tractage de la bouée

Une fois la bouée saisie par le nageur en détresse, le drone abaisse complètement son crochet (sur commande manuelle de l'opérateur) pour libérer le fil et donc la bouée. La présence des ressorts permettent de tirer le plancher de la nacelle vers le haut. Il est ensuite verrouillé par le crochet qui retourne dans sa position initiale. Le drone peut alors revenir sans risques à son point de départ.

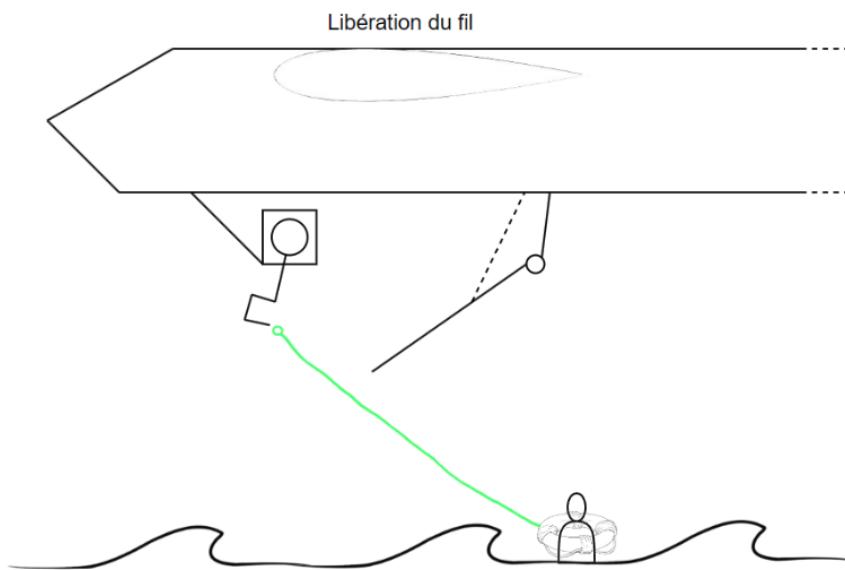


FIGURE 3.7 – Schéma de libération du fil

Cette nacelle sera placée de manière à ce que son centre de masse (lorsqu'elle est chargée) soit sur le même axe vertical que le centre de gravité de l'appareil, soit au niveau de la clé d'aile. Le tout afin d'influencer le moins possible le comportement en vol horizontal stabilisé du drone. Il faudra dès lors prendre en compte qu'une fois la bouée larguée, le centre de masse de la nacelle se déplacera légèrement vers l'avant (dû au poids du servomoteur) et provoquera un léger moment à piquer, ce qui est préférable à un moment à cabrer.

Partie 4

Estimation du coût

Matériel	Nombre	Prix à l'unité	Poids	Description
Caméra FPV Avatar HD Pro	1	69,90 €	9.8g	Format 16 :9 - 8Mp - 720p en 60ip/s - 1080p à 100ip/s
Moteur F60 PRO IV V2	2	28,90€	33.8g	Version 2550kv
Pixhawk	1	113,58€	40g	Version 2.4.8 Inclus les modules de télémétrie, le buzzer et le power module
ESC	1	42,99€	75g	2 motors connected
Jetson Nano	1	201,58€	253g	
Batterie Li-ion	1	69,90€	420.5g	4000mAh
GPS	1	39,00€	20.6 g	
Polystyrène	1	7.08€	15 kg/m ³	120 x 60 cm, ép.40 mm (ailes et empennage)
Tube aluminium	3	5,9€	100g/m	12x1x1000mm
PLA impression 3D	1	12,99€	1kg	

Nous avons déjà les éléments suivants :

- Télécommande et récepteur 6 voies
- Servomoteurs
- Moteurs pour les tests fonctionnels, cependant ils ne seront pas assez puissants pour soulever le drone avec sa charge utile.

Prix total : 632,52 € (Il est à noter que notre association part avec très peu de matériel initial).

Poids : 892 grammes pour la motorisation et l'électronique, auquel il faudra ajouter les 500 grammes de la bouée, et la masse fixe du drone (polystyrène, fuselage en PLA et tubes) qui fera moins de 300 grammes. On arrive à une masse totale de 1692 grammes, inférieure à 1700 grammes.

Partie 5

État d'avancement du prototype

A l'heure actuelle, nous avons déjà une bonne partie de notre prototype. Comme il a été montré dans la partie (2.1.2), nos ailes en polystyrène sont déjà découpées.

Notre système moteur est également imprimé en PLA et fonctionnel.



FIGURE 5.1 – Impression 3D des systèmes moteur

Nous avons programmé l'impression de notre fuselage la semaine prochaine.

Nous allons modéliser le système de largage et réaliser des expériences pour valider son bon fonctionnement.

Dès que nous serons en possession d'un pixhawk, nous pourrons réaliser les tests de notre configuration et passer aux essais pratiques.

Conclusion

En conclusion, notre projet de drone VTOL dédié au sauvetage en mer incarne notre souhait d'unir innovation technologique et mission humanitaire. Notre drone offre une réponse rapide et efficace aux situations d'urgence en mer, où chaque instant compte.

Les choix que nous avons fait pour la conception de notre drone nous permettent de répondre au mieux à notre mission. L'efficacité de la transition du vol vertical au vol horizontal justifie notre choix du système VTOL. La sélection des matériaux pour la structure nous permet d'optimiser le poids final de notre drone.

Dans l'objectif d'améliorer les chances de succès de notre mission, nous nous attachons à améliorer notre reconnaissance par IA et à optimiser le système de largage suite à nos futurs tests.

Nous avons pour objectif de faire notre premier essai en vol avant les vacances de Noël, ce qui implique d'effectuer un premier montage électronique fonctionnel dès que nous aurons toutes les pièces. Notre équipe est motivée et impatiente de débuter cette nouvelle étape du projet.

Nous remercions Dassault pour cette opportunité de présenter notre drone et sa mission.