

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Conception et réalisation d'un système de protection contre
les incendies des forets à base d'un drone quadrirotor

Présenté par : Cheraitia Rami

Sous la direction de : Dr. Doghmane Hakim

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

Je remercie Dieu le Tout-Puissant de m'avoir donné la force et le courage nécessaires pour réaliser ce travail. Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu dans la réalisation de cette étude.

En premier lieu, un immense MERCI à ma famille et en particulier à mes parents. Je remercie tout particulièrement ma mère, qui a toujours su me remonter le moral et m'encourager à aller de l'avant. Elle a supporté mon stress et mon humeur parfois difficile avec une patience et un amour incommensurables. Je remercie également mon père pour son aide et son soutien tout au long de ma carrière universitaire.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à M. Doghmane Hakim, mon encadreur, pour son enseignement, son soutien, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de l'année. Ses orientations et son expertise ont été indispensables à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont également aux membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer cet humble travail. Leur temps et leurs critiques constructives sont grandement appréciés.

Merci à tous mes amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche. Leur camaraderie et leurs encouragements ont été une source de motivation constante.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Votre aide et votre soutien ont été précieux.

Dédicace

Je dédie ce mémoire de projet de fin d'études à mes parents, dont le soutien et l'amour inconditionnels m'ont permis de poursuivre mes études avec détermination et persévérance. Leur confiance en moi a été une source d'inspiration constante tout au long de ce parcours.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude envers mes professeurs et encadrants académiques. Leur expertise et leurs précieux conseils ont grandement contribué à la réussite de ce projet.

Enfin, je dédie ce mémoire à mes amis et à tous ceux qui m'ont soutenu, encourageant ma passion pour la recherche et le développement, et m'offrant un soutien moral précieux lors des moments de doute. Cette dédicace leur est adressée avec une reconnaissance et une gratitude profondes.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : généralité sur les drones	2
I.1.introduction	2
I.2.Principes de mécanique de vol	2
I.3.Les drones	3
I.3.1 Aperçu historique sur les drones	3
I.3.2 Qu'est-ce qu'un drone	4
I.3.3 Domaines d'utilisation	4
I.3.3.1 La photographie aérienne.....	4
I.3.3.2 Peuvent être implémentés pour les opérations de recherche et de sauvetage	4
I.3.3.3 Dans le domaine de l'agriculture.....	4
I.3.3.4 Drones pour l'expédition et la livraison	5
I.3.3.5 Utilisation des drones dans l'ingénierie	5
I.3.3.6 Les drones pour la surveillance et la sécurité des biens et des personnes	5
I.3.3.7 Les drones militaires et policiers	5
I.4. Classification des drones.....	5
I.4.1 Selon le nombre d'hélices	5
I.4.1.1 Drone à rotor	6
I.4.1.1.1 Drone Mono-rotor (helicopters):.....	6
I.4.1.1.2 Drones multi-rotor	7
I.4.1.2 Les drones aux ailes fixes	8
I.4.2 Selon la taille	9
I.4.2.1 Les très petits drone	9
I.4.2.2 Les mini drones.....	9
I.4.2.3 Les drones moyens.....	9
I.4.2.4 Les grands drones	10
I.4.3 Selon les fonctions.....	10
I.4.3.1 Le drone avec caméra	10
I.4.3.2 Le drone loisir ou mini drone.....	11
I.4.3.3 Le drone sauveteur.....	11
I.4.3.4 Le drone ambulancier	12

I.4.3.5 Le drone militaire.....	12
I.4.3.6 Le drone professionnel.....	13
I.5. Conclusion.....	13
Chapitre II : Aérodynamique d'un drone quad-copter	14
II.1. Introduction.....	14
II.2. Description générale du quad-copter	14
II.3. Modes de Vol des quad-copters	16
II.3.1 Types de Mouvements de Base.....	16
II.3.1.1 Vol vertical	16
II.3.1.2 Vol stationnaire.....	16
II.3.1.3 Vol de translation.....	16
II.3.2 Configurations de Contrôle (Modes de Vol Spécifiques)	17
II.3.2.1 Mode Manuel.....	17
II.3.2.2 Mode Stabilisé	17
II.3.2.3 Mode GPS.....	17
II.3.2.4 Mode RTH (Retour à la maison)	17
II.3.2.5 Mode Follow-me	17
II.4. Dynamique du vol du quad-copter.....	17
II.4.1 Système de repérage.....	17
II.4.2 Mouvement du quad-copter	18
II.4.2.1 Mouvement vertical.....	19
II.4.2.2 Mouvement de roulis (Roll) : Droite / Gauche.....	19
II.4.2.3 Mouvement de tangage (Pitch) : Avancer / Reculer.....	20
II. 4.2.4 Mouvement de lacet (Yaw) : Rotation	20
II.4.3 Les angles d'Euler.....	21
II.5. Les efforts physiques agissants sur le quad-copter.....	22
II.5.1 Quad-copter stagnant dans les airs	22
II.5.1.1 Le poids	22
II.5.1.2 La portance	22
II.5.2 Quad-copter en mouvement avançant dans les airs	23
II.5.2.1 La traînée	24
II.5.2.2 La poussée	24
II.5.2.3 Effet gyroscopique.....	25

II.6. Le PID (proportionnel-intégral-dérivé).....	25
II.7. Conclusion	27
Chapitre III : Conception et Réalisation d'un drone quad-copter	28
III .1. Introduction	28
III .2. Cahier des charges	28
III .3. Planification du mini projet	28
III .4. Liste des composant	28
III .4.1 Châssis	28
III .4.2 Moteurs brushless	30
III .4.2 Contrôleur de vitesse électronique (ESC).....	32
III .4.3 Les Hélices.....	33
III .4.4 Batterie.....	34
III .4.5 Radio-commande	35
III .4.6 Récepteur R8EF.....	36
III .4.7 ARDUOPTER APM 2.8	37
III .4.8 Gyroscope et un Accéléromètre.....	38
III .4.9 Module GPS.....	39
III .4.10 Schéma Fonctionnel.....	40
III .4.11 Schéma structurel.....	42
III .5. Programmation du drone	42
III .5.1 logiciel Mission Planner	43
III .5.2 Programmation du Arducopter avec Mission Planner	43
III .6. Conclusion.....	48
Chapitre IV :Surveillance et Extinction d'Incendies	49
IV .1. Introduction	49
IV .2. Matériel et Logiciel Utilisés	49
IV .2.1 Matériel Utilisés	49
IV .2.1.1 Raspberry Pi 4	49
IV .2.1.2 Camera pi	50
IV .2.1.3 Le Relais	51
IV .2.1.4 Pompe à eau	52
IV .2.1.5 Réservoir	52
IV .2.1.6 Le module GSM SIM900A	52

IV .2.1.6 Arduino Uno	54
IV .2.2 logiciel utilisé	55
IV .2.2.1 Thonny IDE	55
IV .3. OpenCV	56
IV .4. Détection de feu	57
IV .5. La télémétrie.....	58
IV .6. La partie Simulation	60
IV .6.1 Logiciel Fritzing	60
IV .7. Conclusion.....	62
Conclusion générale	63
Bibliographie	
Annexe1	

Table des figures

Figure I.1 : L'AR Drone	3
Figure I.2 : Les différents nombres d'hélices	6
Figure I.3 : Le drone mono-rotor	6
Figure I.4 : Le tricoptère	7
Figure I.5 : Le Quad-copter	7
Figure I.6 : Hexacoptère	8
Figure I.7 : Octocoptère	8
Figure I.8 : Les drones aux ailes fixe	9
Figure I.9 : Un très petit drone	9
Figure I.10 : UK watchkeeper drone moyenne	10
Figure I.11 : Un grand drone	10
Figure I.12 : drone avec caméra	11
Figure I.13: drone loisir	11
Figure I.14 : drone sauveteur	12
Figure I.15 : drone ambulancier	12
Figure I.16 : drone militaire	13
Figure I.17 : Le drone professionnel	13
Figure II.1 : Quad-copter à quatre moteurs.	15
Figure II.2 : Les deux types de quad-copter	16
Figure II.3 : Géométrie du quad-copter	18
Figure II.4 : Le mouvement du quad-copter	19
Figure II.5 : Illustration du mouvement vertical	19
Figure II.6 : Illustration du Mouvement de roulis (Roll) : Droite / Gauche	20
Figure II.7 : Illustration du Mouvement de tangage (Pitch) : Avancer / Reculer	20
Figure II.8 : Illustration du Mouvement de lacet (Yaw) : Rotation	21
Figure II.9 : Les angles d'Euler	21
Figure II.10 : Illustration des forces agissantes sur un quad-copter stagnant dans les airs	22
Figure II.11 : Aile d'une Hélice	23
Figure II.12 : Illustration des forces agissantes sur un quad-copter en mouvement	24
Figure II.13 : Effet gyroscopique	25
Figure II.14 : Structure du PID d'un drone quadricoptère	27
Figure III .1 : F450 Frame	29
Figure III .2 : Composition du moteur brushless.	31
Figure III .3 : Fonctionnement du moteur brushless.	31
Figure III .4: 980KV EMAX XA2212 Moteur Brushless.	32
Figure III .5 : Electronique Speed Controller 30A.	33
Figure III .6 : hélices.	34
Figure III .7 : Batterie Lipo 3S 3300mah.	35
Figure III .8: Radiolink T8FB.	36
Figure III .9 : Récepteur R8EF.	37
Figure III .10 : Arducopter APM 2.8.	38

Figure III .11 : le rôle de contrôleur de vol.	38
Figure III .12: UBLOX M8N GPS Module with Compass.	40
Figure III .13: Schéma Fonctionnel	41
Figure III .14: Schéma simplifié du fonctionnement d'un quadricoptère.	41
Figure III .15: montage d'un arducopter drone quadcopter.	42
Figure III .16: montage de variateur de vitesse avec les moteurs.	42
Figure III .17 : Connecter L'APM sur Mission Planner.....	43
Figure III .18: Installation du system quadricopter.	44
Figure III .19 : Début de la configuration.....	44
Figure III .20: Configuration du châssis.....	45
Figure III .21 : Étalonnage de l'accéléromètre.....	45
Figure III .22 : Étalonnage de la boussole.	45
Figure III .23 : visualiser graphiquement des données de vol.	46
Figure III .24 : Étalonnage radio.	46
Figure III .25: Terminer l'étalonnage radio.	47
Figure III .26 : Mode de vol.	47
Figure III .27 : Étalonnage du ESC.	48
Figure IV .1: Raspberry pi 4.....	50
Figure IV .2 : camera pi	51
Figure IV .3 : Relais.	51
Figure IV .4 : Pompe à eau.	52
Figure IV .5: Module GSM SIM900A.	53
Figure IV .6 : Arduino Uno.	54
Figure IV 7 : détection par OpenCV.	57
Figure IV .6 : mode HSV.	58
Figure IV .8 : Modèle FIM-2430.....	59
Figure IV .9 : Simulation de circuit.....	61

Résumé

Les incendies de forêt sont considérés parmi les catastrophes naturelles les plus dangereuses, entraînant la destruction de vastes étendues de végétation, ayant un impact négatif sur la biodiversité, le climat, mettant en péril la vie humaine et occasionnant d'importantes pertes économiques. Face à ces défis, l'objectif de ce projet est de concevoir et mettre en œuvre un système intégré de prévention des incendies de forêt en utilisant un drone quadricoptère.

Le système repose sur des technologies avancées telles que la télédétection, l'imagerie thermique et l'intelligence artificielle, afin de détecter et surveiller les incendies de manière précoce et efficace. Les drones sont équipés d'un ensemble de capteurs et de caméras thermiques, accompagnés d'un système de contrôle avancé permettant l'analyse des données et la localisation précise des incendies, facilitant ainsi une intervention rapide pour limiter la propagation du feu et réduire les dommages.

Ce projet constitue une avancée significative dans l'utilisation des technologies de pointe pour la lutte contre les incendies de forêt et la protection de l'environnement. En utilisant ces techniques avancées, il est possible d'améliorer la protection des forêts, de préserver la biodiversité et d'assurer la durabilité des ressources naturelles. Nous espérons que les résultats de ce projet encourageront davantage d'innovations et de recherches dans ce domaine vital, contribuant ainsi à renforcer les efforts mondiaux de préservation de l'environnement et de lutte contre les catastrophes naturelles.

تعتبر حرائق الغابات من أخطر الكوارث الطبيعية، إذ تؤدي إلى تدمير مساحات كبيرة من الغطاء النباتي، وتؤثر سلباً على التنوع البيولوجي والمناخ، وتعرض حياة الإنسان للخطر، وتسبب خسائر اقتصادية كبيرة. وفي مواجهة هذه التحديات، فإن الهدف من هذا المشروع هو تصميم وتنفيذ نظام متكامل للوقاية من حرائق الغابات باستخدام طائرة بدون طيار كوادكوبتر

ويعتمد النظام على تقنيات متقدمة مثل الاستشعار عن بعد والتصوير الحراري والذكاء الاصطناعي للكشف عن الحرائق ومراقبتها مبكراً وبكفاءة. وتم تزويد الطائرات بدون طيار بمجموعة من أجهزة الاستشعار والكاميرات الحرارية، مصحوبة بنظام تحكم متطور يسمح بتحليل البيانات وتحديد مواقع الحرائق بدقة، مما يسهل التدخل السريع للحد من انتشار الحرائق وتقليل الأضرار

يمثل هذا المشروع تقدماً كبيراً في استخدام التقنيات المتطورة لمكافحة حرائق الغابات وحماية البيئة. وباستخدام هذه التقنيات المتقدمة، من الممكن تحسين حماية الغابات والحفاظ على التنوع البيولوجي وضمان استدامة الموارد الطبيعية. ونأمل أن تشجع نتائج هذا المشروع على المزيد من الابتكار والبحث في هذا المجال الحيوي، مما يساعد في تعزيز الجهود العالمية للحفاظ على البيئة ومكافحة الكوارث الطبيعية

Introduction générale

Les incendies de forêt sont parmi les catastrophes environnementales les plus graves, causant des dommages considérables tant aux écosystèmes qu'aux êtres humains. Ces incendies détruisent de vastes étendues de végétation, entraînent une perte de biodiversité, et nuisent au climat en libérant de grandes quantités de gaz à effet de serre. En outre, ils menacent la vie humaine et entraînent des pertes matérielles et économiques importantes. D'où la nécessité impérieuse de développer des systèmes efficaces pour la détection précoce des incendies et leur lutte afin de minimiser leurs effets négatifs.

Avec les avancées technologiques majeures que nous connaissons aujourd'hui, les drones sont devenus un outil innovant et efficace pour la surveillance des forêts et la détection des incendies. Les drones se distinguent par leur capacité à atteindre des zones éloignées et difficiles d'accès, ainsi que par leur capacité à fonctionner dans diverses conditions environnementales à des coûts bien inférieurs à ceux des méthodes traditionnelles.

Ce projet vise à concevoir et à mettre en œuvre un système intégré de protection contre les incendies de forêt en utilisant un drone quadrirotor. Le système proposé repose sur l'intégration de multiples technologies, incluant la télédétection, l'intelligence artificielle et l'imagerie thermique, pour une détection précoce et une surveillance efficace des incendies. Le drone sera équipé d'un ensemble de capteurs et de caméras thermiques, ainsi que d'un système de contrôle avancé lui permettant de voler de manière autonome et de localiser les incendies avec précision.

Ce travail se concentrera sur les différents aspects de la conception du système, depuis le choix des composants techniques appropriés, en passant par le développement des logiciels nécessaires au contrôle et au traitement des données, jusqu'aux tests du prototype et à l'évaluation de ses performances dans des conditions réelles. À travers ce projet, nous espérons fournir une solution innovante et efficace pour protéger les forêts du risque d'incendie et préserver l'environnement et la biodiversité.

L'utilisation de technologies avancées dans la lutte contre les incendies de forêt ne représente pas seulement un pas vers la préservation de l'environnement, mais constitue également un investissement pour un avenir plus sûr et durable pour les générations futures. Nous espérons que ce projet marquera une avancée significative dans les méthodes de lutte contre les incendies de forêt et contribuera à réduire les pertes environnementales, économiques et humaines qu'ils entraînent.

Chapitre I : **généralité sur les drones**

Chapitre I : généralité sur les drones

I.1.introduction

La robotique aérienne constitue un domaine vaste et multidisciplinaire. Un drone, ou véhicule aérien sans pilote à bord, est contrôlé à distance. Il peut être défini comme un système mécanique, électronique et informatique conçu ou programmé pour effectuer des tâches souvent répétitives, dangereuses ou complexes, dépassant les capacités humaines directes. Les progrès technologiques dans les domaines de l'électronique et des systèmes embarqués ont permis la réalisation de drones efficaces, compacts, et peu coûteux, notamment les "mini" ou "micro drones". Ces avancées autorisent l'intégration de plusieurs types de capteurs simultanément sur ces systèmes [1]

Dans ce chapitre nous avons brièvement présenté le contexte historique des drones et ses différents domaines d'utilisation et classification les drones et On parle aussi des principes de la mécanique du vol

I.2.Principes de mécanique de vol

Les fondements de la mécanique du vol décrivent les forces et les mouvements qui permettent à tout aéronef, y compris les drones, de se maintenir en vol. Voici les principes fondamentaux :

-La portance, également appelée lift, est la force aérodynamique qui s'oppose à la gravité et permet à l'aéronef de s'élever dans les airs. Elle résulte de la variation de pression entre la surface supérieure et inférieure des ailes (ou des hélices pour les drones multirotors). La portance est influencée par plusieurs facteurs, notamment la forme des ailes, leur surface, l'angle d'attaque et la vitesse de l'air les traversant.

-La traînée, également nommée drag, représente la force aérodynamique qui résiste au déplacement de l'aéronef dans l'air. Elle résulte de la friction de l'air sur la surface de l'aéronef. La minimisation de cette traînée revêt une grande importance pour accroître l'efficacité et la vitesse de l'aéronef

-La propulsion désigne la force qui propulse l'aéronef vers l'avant. Dans le contexte des drones multi rotors, elle est engendrée par les moteurs et les hélices, générant une poussée vers le haut en fonction des régimes moteurs des hélices.

-L'équilibre est crucial pour assurer un vol stable d'un aéronef, nécessitant un équilibrage sur ses axes principaux. Ces axes comprennent l'axe longitudinal (pour le roulis), l'axe latéral (pour le tangage) et l'axe vertical (pour le lacet). Les actions effectuées sur les commandes de pilotage permettent de maintenir cet équilibre tout au long du vol.

-Le contrôle de l'aéronef est effectué à l'aide des surfaces de contrôle telles que les ailerons, les gouvernes de profondeur et les gouvernes de direction. Ces éléments ajustent la distribution de la portance et de la traînée, facilitant ainsi les manœuvres et les changements de direction en vol.

Les principes fondamentaux de la mécanique du vol sont universels pour les avions classiques et les drones. Toutefois, il est important de souligner que les drones à plusieurs rotors, comme les quadricoptères, présentent des caractéristiques de vol particulières en raison de leur configuration et de leur pilotage assisté par des capteurs et des systèmes électroniques. [2]

I.3. Les drones

I.3.1 Aperçu historique sur les drones

Plus de cent ans se sont écoulés depuis le premier décollage réussi d'un aéronef sans pilote à partir de la base militaire d'Avord. C'était le 2 juillet 1917 lorsque Max Boucher, un Français, a accompli cet exploit avec un avion de type Voisin 150 HP. Parcourant une distance de 500 mètres à une altitude de 50 mètres, il aurait pu aller plus loin s'il n'avait pas manqué de carburant. Le 14 septembre 1918, toujours avec un Voisin BN3, il effectua un vol sans pilote sur environ 100 kilomètres, d'une durée de 51 minutes.

À cette époque, l'objectif principal était de concevoir un engin capable de mener des missions de reconnaissance sans exposer la vie des pilotes. La France n'était pas la seule nation à travailler sur de tels projets. En Angleterre, l'ingénieur Archibald Low tenta de développer un avion cible pilotable par télégraphie sans fil, nommé l'Aerial Target, dès 1916. Aux États-Unis, en 1917, Elmer Ambrose Sperry, Lawrence Sperry et Peter Cooper Hewitt imaginèrent le Hewitt-Sperry Automatic Airplane, un appareil sans pilote capable de lancer des torpilles aériennes.

Le développement des drones fut entravé par la fin de la Première Guerre mondiale, mais les avancées dans l'électronique et les communications radio à longue portée ont ravivé l'intérêt pour ces engins après la Seconde Guerre mondiale. Désormais, la plupart des forces armées sont équipées de drones militaires sophistiqués.

Le développement du drone civil pour le grand public a débuté dans les années 2010, marqué par la transition réussie de la complexité des hélicoptères radiocommandés vers les drones multirotors plus accessibles, notamment grâce à l'entreprise DJI. Parrot, un fabricant français, a également joué un rôle pionnier avec son AR Drone. D'autres fabricants ont rapidement suivi, tels que Gaii, MultiKopter, Walkera, Hubsan, 3D Robotics, Yuneec, GoPro, et Autel Robotics. Cependant, seules quelques marques ont perduré, le marché se concentrant autour d'elles. [3]



Figure I.1 : L'AR Drone [4]

I.3.2 Qu'est-ce qu'un drone

Un drone, dans sa définition stricte, est un engin qui n'a pas de pilote à bord. Il est généralement contrôlé à distance par un opérateur humain, bien qu'il puisse posséder divers degrés d'autonomie, comme la capacité à éviter les collisions ou à gérer les conditions aérologiques. Fondamentalement, un drone agit comme une plateforme mobile pour des capteurs, servant à l'observation, l'acquisition et la transmission de données géolocalisées. [5]

I.3.3 Domaines d'utilisation

Les drones ne sont plus réservés au domaine militaire ; au contraire, leur utilisation s'est étendue à de nombreux secteurs économiques grâce à leurs capacités avancées. Leur popularité croissante a ouvert de nouveaux horizons d'application. Actuellement, les drones sont employés dans divers domaines et continuent de s'améliorer technologiquement. Leur capacité de transport s'est accrue, tout comme leur autonomie de vol. Grâce à des avancées constantes, de nouveaux capteurs sont intégrés pour optimiser leurs performances dans des applications spécialisées. [6]

Nous mentionnons quelques domaines d'utilisation des drones

I.3.3.1 La photographie aérienne

Avec l'avènement des drones équipés de caméras, la couverture médiatique de lieux inaccessibles est devenue courante. Auparavant, seules les grandes sociétés de médias pouvaient se permettre de prendre des photos aériennes par hélicoptère. Aujourd'hui, même les petits organismes de presse et les journalistes locaux peuvent prendre des photographies aériennes de haute qualité pour couvrir l'actualité. Grâce à leur petite taille, les drones peuvent également se déplacer facilement dans des espaces restreints, ce qui facilite la capture d'entretiens en face-à-face. [6]

I.3.3.2 Peuvent être implémentés pour les opérations de recherche et de sauvetage

Aujourd'hui, les drones sont équipés de capteurs thermiques leur permettant de localiser les personnes égarées, même dans l'obscurité et sur des terrains difficiles. Cette technologie révolutionne les opérations de recherche et de sauvetage, autrefois entravées par un manque d'outils adéquats. Désormais, les drones peuvent intervenir en quelques minutes, déployant leurs capacités pour des missions de sauvetage, y compris dans des situations critiques ou sur des terrains impraticables. De plus, ils peuvent être utilisés pour larguer des fournitures dans des zones difficiles d'accès. [6]

I.3.3.3 Dans le domaine de l'agriculture

La technologie des drones représente une avancée majeure, offrant aux agriculteurs une multitude d'avantages. Les drones permettent de surveiller efficacement les cultures, contribuant ainsi à économiser temps et argent en identifiant rapidement les zones de détresse. Leur capacité à inspecter de vastes étendues de terres agricoles permet une gestion précise des systèmes d'irrigation. De plus, les agriculteurs peuvent désormais recevoir rapidement des mises à jour

essentielles, tandis que les drones facilitent l'application opportune de fertilisants, pesticides et eau sur les cultures. [6]

I.3.3.4 Drones pour l'expédition et la livraison

Les drones sophistiqués, capables de transporter de grosses charges utiles, deviennent précieux pour les services de livraison. Cette technologie permet une livraison instantanée à domicile, en évitant les embouteillages sur les routes. Ainsi, les clients peuvent recevoir rapidement leurs produits, y compris leurs commandes de nourriture, en quelques minutes seulement. [6]

I.3.3.5 Utilisation des drones dans l'ingénierie

De nos jours, de nombreuses entreprises d'ingénierie exploitent la technologie des drones pour une surveillance approfondie de leurs projets, notamment pour l'inspection des câbles de transmission, des pipelines d'hydrocarbures et la maintenance des installations. Les drones sont polyvalents et peuvent accomplir diverses tâches dans ce domaine. [6]

I.3.3.6 Les drones pour la surveillance et la sécurité des biens et des personnes

Les drones sont de précieux outils pour renforcer la sécurité publique et surveiller les foules, en détectant les activités criminelles lors de grands rassemblements et en assurant une surveillance efficace des zones frontalières pour intercepter les trafiquants de drogue et de migrants. Leur utilisation contribue à renforcer la sécurité nationale en agissant comme une force intelligente de protection. C'est pourquoi de nombreux pays investissent dans le développement de drones avancés. [6]

I.3.3.7 Les drones militaires et policiers

Les drones militaires sont principalement déployés pour des missions de surveillance, de collecte de renseignements, de transport de matériel, et aussi pour des opérations offensives. Ils sont utilisés comme des engins autonomes pour identifier et attaquer des cibles ennemies, qu'il s'agisse de sites stratégiques ou de troupes adverses. [1]

I.4. Classification des drones

Les drones, ou UAV (véhicules aériens sans pilote), sont conçus pour voler autonomement sans pilote à bord. Leurs déplacements sont généralement contrôlés à distance, bien que des modèles avancés puissent être dirigés via des systèmes informatiques. Une grande variété de modèles de drones existe, chacun étant adapté à des applications spécifiques. Leur taille et leur conception varient en fonction des besoins particuliers qu'ils sont destinés à satisfaire. [1]

Les drones sont généralement classés en quatre catégories principales selon le nombre d'hélices qu'ils utilisent, leur taille, leur portée et les équipements qu'ils transportent. [1]

I.4.1 Selon le nombre d'hélices

Ce type de classification se divise en deux catégories distinctes en fonction de leur fonctionnalité et de leur conception : Drones à rotors et Drones à ailes fixées

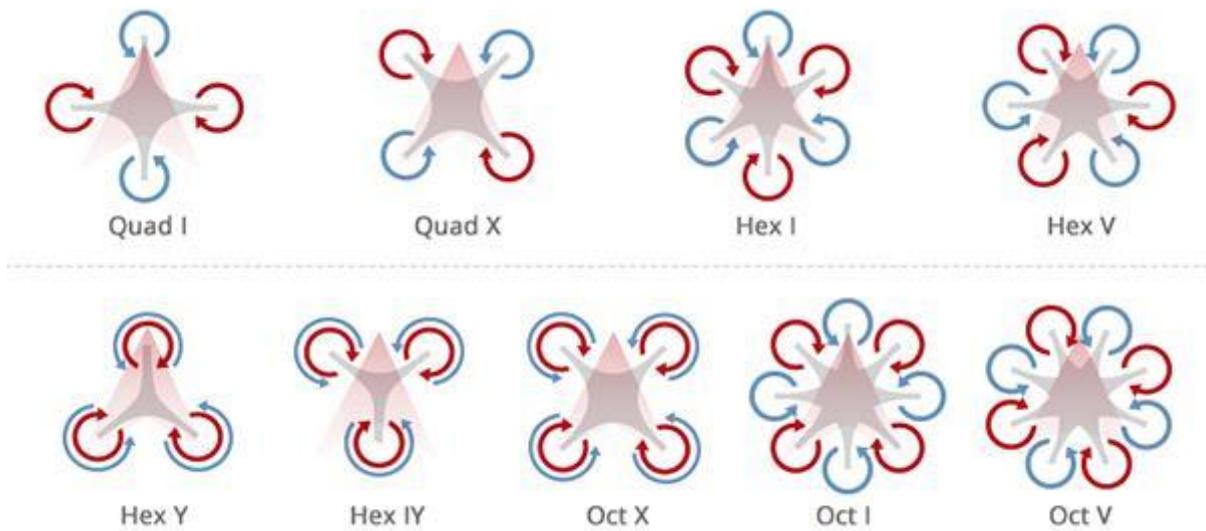


Figure I.2 : Les différents nombres d'hélices [1]

I.4.1.1 Drone à rotor

Ce type est également divisé en deux parties en termes de nombre de rotors :

I.4.1.1.1 Drone Mono-rotor (helicopters):

La configuration la plus répandue dans les drones à rotor est généralement celle des modèles multi-rotors, qui utilisent plusieurs rotors pour stabiliser l'appareil en vol. En revanche, les modèles mono-rotors sont équipés d'un unique rotor. De plus, ils comportent souvent un rotor de queue qui contribue au contrôle de la direction de l'appareil. [1]



Figure I.3 : Le drone mono-rotor [1]

I.4.1.1.2 Drones multi-rotor

Le tricoptère

Il y a trois moteurs puissants, trois contrôleurs, quatre gyroscopes et un servo à l'intérieur d'un tricoptère. Les moteurs sont placés à chaque extrémité des trois bras, chacun avec un capteur de positionnement. Lorsque le tricoptère doit être soulevé, une action sur le levier d'accélérateur est nécessaire. Le gyroscope reçoit immédiatement le signal et commande la rotation du moteur correspondant [1]



Figure I.4 : Le tricoptère [1]

Quad-copte

Lorsqu'un multirotor est équipé de quatre pales de rotor, il est désigné comme quadricoptère. Ces engins sont typiquement propulsés par des moteurs à courant continu de type brushless spécialement adaptés. Deux des moteurs tournent dans le sens des aiguilles d'une montre, tandis que les deux autres tournent dans le sens inverse. [1]



Figure I.5 : Le Quad-copter [1]

Hexacoptère

Un Hexaoptère offre de multiples applications potentielles grâce à ses six moteurs, dont trois tournent dans le sens des aiguilles d'une montre et trois dans le sens inverse. Ainsi, ces engins peuvent fournir une puissance de levage supérieure à celle des quadricoptères. [1]



Figure I.6 : Hexaoptère [1]

Octooptère

"Octobre" signifie huit. Ainsi, l'octooptère est équipé de huit moteurs puissants qui entraînent huit hélices fonctionnelles. Grâce à cette configuration, cet engin bénéficie naturellement d'une plus grande capacité de vol que les modèles précédemment cités, et il offre également une stabilité accrue. [1]



Figure I.7 : Octooptère [1]

I.4.1.2 Les drones aux ailes fixes

Voici une catégorie complètement distincte des types précédemment évoqués. Les designs de ces drones sont complètement uniques par rapport aux drones multi-rotors classiques. Ils sont pourvus d'ailes et ressemblent à des avions traditionnels. Cependant, ces drones ne parviennent pas à maintenir une stabilité en vol car leur puissance n'est pas suffisante pour contrer la force gravitationnelle. [1]



Figure I.8 : Les drones aux ailes fixe [1]

I.4.2 Selon la taille

I.4.2.1 Les très petits drone

Ils peuvent être construits avec une envergure allant de celle d'un grand insecte à une taille pouvant atteindre 50 cm de long. Les deux types les plus répandus dans cette classification sont les mini drones et les nano/micro drones. [1]



Figure I.9 : Un très petit drone [1]

I.4.2.2 Les mini drones

Ils présentent une taille légèrement supérieure à celle des micro-drones, dépassant ainsi les 50 cm, mais leur dimension maximale est plafonnée à 2 m. [1]

I.4.2.3 Les drones moyens

Cette classe de drones comprend des modèles plus massifs que ceux précédemment mentionnés, mais ils restent nettement plus légers et plus compacts que les avions traditionnels. Ils peuvent atteindre un poids maximal de 200 kg et offrir une autonomie de vol moyenne de 5 à 10 minutes. [1]



Figure I.10 : UK watchkeeper drone moyenne [7]

I.4.2.4 Les grands drones

Les grands drones présentent une envergure similaire à celle des avions et sont largement utilisés dans des applications militaires. Ils sont déployés pour couvrir des zones inaccessibles aux avions classiques et sont essentiels pour la surveillance. Ils peuvent également être classés en différentes catégories selon leur portée et leurs capacités de vol. [1]



Figure I.11 : Un grand drone [1]

I.4.3 Selon les fonctions

I.4.3.1 Le drone avec caméra

Les caméras embarquées sur les drones sont montées sur des axes pour assurer une stabilité maximale. Elles ont la capacité de filmer en HD et/ou en full HD. Ce type de drone est idéal pour ceux qui cherchent à capturer des images aériennes de haute qualité. [1]



Figure I.12 : drone avec caméra [8]

I.4.3.2 Le drone loisir ou mini drone

Certains modèles récréatifs sont équipés d'une caméra pour la photographie aérienne. Ces drones sont abordables et simples à piloter. Ils sont conçus pour les débutants, qu'ils soient enfants ou adultes, cherchant à s'amuser. [1]



Figure I.13: drone loisir [9]

I.4.3.3 Le drone sauveteur

Ce drone, spécialement conçu pour les opérations de sauvetage, est adapté à différents environnements, notamment pour les missions de sauvetage en mer. Il est équipé d'un compartiment destiné à transporter des bouées de sauvetage, ainsi que d'un capteur thermique pour détecter les personnes dans l'eau. [1]



Figure I.14 : drone sauveteur [10]

I.4.3.4 Le drone ambulancier

Ce drone est déployé pour assister les équipes de secours, offrant une arrivée rapide sur les lieux via les airs. Reconnaissable par ses couleurs distinctives des services de secours, ce petit drone peut transporter jusqu'à 4 kg d'équipements, y compris un défibrillateur. Cette capacité pourrait augmenter les chances de survie de 8 à 80%. [1]



Figure I.15 : drone ambulancier [11]

I.4.3.5 Le drone militaire

Le drone militaire se distingue nettement des drones civils et est exclusivement utilisé par les forces armées pour des missions de reconnaissance, de surveillance et d'attaque. Il est capable de surveiller des zones inaccessibles aux humains et de capturer des images de lieux difficiles d'accès. Pesant un peu plus de 2 tonnes, il peut atteindre une altitude de 15 kilomètres. Il est équipé pour transporter jusqu'à 6 missiles et deux bombes, avec un poids maximal de 4540 kg. [1]



Figure I.16 : drone militaire [12]

I.4.3.6 Le drone professionnel

Les drones destinés à un usage professionnel offrent une gamme variée de fonctionnalités et sont employés dans divers secteurs. Leur pilotage est plus complexe. Depuis le 1er janvier 2018, tout drone pesant plus de 800 g est classé comme un drone professionnel. [1]



Figure I.17 : Le drone professionnel [13]

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons brièvement abordé les drones en général. Nous avons commencé par les principes de la mécanique aéronautique, puis nous avons retracé leur histoire et examiné leurs

Domaines d'utilisation. Nous avons également classé les différents types de drones et, grâce à nos recherches, nous avons constaté que ce domaine est vaste et en développement continu.

Chapitre II : Aérodynamique d'un drone quad-copter

Chapitre II : Aérodynamique d'un drone quad-copter

II.1. Introduction

La modélisation joue un rôle crucial dans l'analyse de tous les systèmes, car il est essentiel de bien comprendre le comportement du système physique et de son environnement. La modélisation des véhicules aériens autonomes est assez complexe et nécessite une connaissance approfondie de l'aérodynamique du véhicule étudié, de ses caractéristiques mécaniques ainsi que de la dynamique des actionneurs. Les difficultés augmentent pour les systèmes à petite échelle en raison de la complexité des phénomènes aérodynamiques impliqués, de leur plus grande sensibilité aux perturbations et des contraintes sur la charge utile qui imposent des limitations de dimensionnement et de poids pour les capteurs embarqués. Les véhicules à voilures tournantes représentent actuellement la solution la plus performante pour combiner le vol quasi-stationnaire avec le vol en avant. [1]

Ce chapitre se concentre sur l'aérodynamique du quadcopter en utilisant le formalisme de Newton-Euler. Un quadcopter peut être considéré comme un corps rigide à six degrés de liberté auquel s'ajoutent les forces aérodynamiques générées par ses actionneurs. Tout d'abord, nous avons présenté les repères de référence nécessaires pour exprimer l'orientation du quadcopter. Ensuite, nous avons défini les mouvements possibles d'un quadcopter. Enfin, nous identifions toutes les forces, moments et effets ayant un impact sur le quadcopter. [1]

II.2. Description générale du quad-copter

Un quadricoptère, également appelé quadcopter, est un aéronef à voilure tournante caractérisé par quatre bras, chacun équipé d'un moteur à courant continu. Les rotors, disposés aux extrémités d'une structure en forme de croix, nécessitent une configuration particulière pour éviter la rotation intempestive de l'appareil autour de son axe de lacet. En effet, deux des hélices doivent tourner dans le sens horaire, tandis que les deux autres tournent dans le sens antihoraire. Ces appareils sont omnidirectionnels et possèdent des capacités de décollage et d'atterrissage verticaux (VTOL). La structure centrale, reliant les quatre bras, est conçue pour être à la fois rigide et légère, souvent fabriquée en matériaux variés tels que le bois, l'aluminium, la fibre de carbone ou le plastique. Cette plateforme centrale accueille également les divers composants essentiels au fonctionnement du drone. [1]

Le mouvement vertical du quadricoptère, qu'il s'agisse de montée ou de descente, est assuré par l'action simultanée des quatre rotors. Pour la translation avant ou arrière, une différence de poussée entre les moteurs avant et arrière génère un couple de tangage. De manière similaire, le déplacement latéral (gauche/droite) est contrôlé par la variation de poussée entre les rotors situés sur les côtés respectifs de l'appareil. [1]

Chapitre II : Aérodynamique d'un drone quad-copter

La taille des quadricoptères varie considérablement, certains modèles mesurant moins de 50 mm tandis que d'autres dépassent un mètre. Les caractéristiques supplémentaires peuvent inclure des pieds pour faciliter l'atterrissage et des protections pour les hélices, afin de prévenir les dommages en cas de collision. [1]

Ainsi, la conception et la fabrication des quadricoptères impliquent une balance délicate entre rigidité et légèreté, tout en intégrant des composants sophistiqués pour assurer la stabilité et la manœuvrabilité de l'appareil en vol. [1]



Figure II.1 : Quad-copter à quatre moteurs. [1]

On distingue deux types de quad-copter, les modèles dits "+" ou "plus" et ceux appelés "X". La structure en elle-même ne change pas, mais c'est l'orientation de l'avant de l'appareil qui varie. Sur un Quad +, l'avant de l'appareil pointe dans la direction d'une des branches. En revanche, pour un Quad X, la structure est pivotée de 45°, plaçant ainsi l'avant entre deux bras. La seule différence entre ces deux modèles réside dans le fait que le modèle en croix offre une vue plus dégagée à l'avant et à l'arrière, le rendant ainsi plus approprié pour les prises de vue embarquées. [1]



Figure II.2 : Les deux types de quad-copter [1]

II.3. Modes de Vol des quad-copters

Les modes de vol d'un quadcopter peuvent être classés en deux grandes catégories : les types de mouvements de base et les configurations de contrôle spécifiques. Comprendre ces modes est crucial pour maîtriser le pilotage et exploiter pleinement les capacités d'un quadcopter.

II.3.1 Types de Mouvements de Base

Selon les mouvements possibles, le drone est capable de trois modes de vol. [1]

II.3.1.1 Vol vertical

Lors du vol vertical, la force aérodynamique résultante et le poids total sont deux forces orientées dans la même direction mais opposées en sens. Le drone peut monter ou descendre, selon que la force aérodynamique est supérieure ou inférieure au poids de l'appareil Utilisé pour le décollage, l'atterrissage et les ajustements d'altitude. [1]

II.3.1.2 Vol stationnaire

Lorsque la force de portance et celle de pesanteur sont égales et opposées, le drone reste immobile. Cela est appelé vol stationnaire Ce mode est idéal pour la photographie aérienne stable, la surveillance et la surveillance étendue. [1]

II.3.1.3 Vol de translation

Mouvement horizontal du drone dans les directions avant, arrière, gauche et droite. Il est utilisé pour se déplacer d'un point à un autre, suivre une cible en mouvement ou effectuer des tâches de cartographie. [1]

II.3.2 Configurations de Contrôle (Modes de Vol Spécifiques)

Ces configurations de contrôle utilisent différents capteurs et algorithmes pour faciliter la conduite et améliorer la stabilité du drone.

II.3.2.1 Mode Manuel

En mode manuel, le drone est piloté à l'aide d'une télécommande, nécessitant que le pilote ajuste personnellement les commandes de vol. Cela inclut la gestion de l'altitude, de la vitesse, de la direction et de l'orientation du drone. [2]

II.3.2.2 Mode Stabilisé

Le drone fonctionne dans un mode utilisant des accéléromètres, des gyroscopes et des magnétomètres pour assurer une position stable et contrôlée en vol. Ainsi, le pilote n'a pas besoin d'ajuster manuellement les commandes de vol, car le drone peut maintenir son orientation et sa position sans effort. [2]

II.3.2.3 Mode GPS

Le système GPS du drone lui permet de maintenir avec précision sa position en vol. Grâce à ce mode, le drone peut conserver une altitude et une position stables dans l'espace aérien en utilisant les données GPS. Cette fonctionnalité est particulièrement avantageuse pour des missions comme la cartographie et la surveillance. [2]

II.3.2.4 Mode RTH (Retour à la maison)

En mode de retour automatique, le drone utilise les données GPS pour revenir à son point de départ. Cette fonctionnalité est particulièrement utile en cas de perte de connexion avec la télécommande ou lorsque la batterie est faible. [2]

II.3.2.5 Mode Follow-me

En mode de suivi automatique, le drone maintiendra une certaine distance et altitude par rapport au sujet. Cette fonctionnalité est largement utilisée en photographie et vidéographie aériennes. Ces modes de vol sont ajustables et personnalisables selon les besoins spécifiques de chaque utilisateur ou entreprise. En général, les drones modernes disposent de plusieurs modes de vol afin de proposer une expérience de vol adaptée et maîtrisée. [2]

II.4. Dynamique du vol du quad-copter

II.4.1 Système de repérage

Pour comprendre et déterminer l'orientation du quadcopter dans l'espace, deux systèmes de coordonnées sont utilisés : le système de coordonnées terrestre (global) et le système

de coordonnées associé au quadcopter (local). Le système global est un système fixe attaché à la terre, défini par $\mathbf{E} (\mathbf{O}, \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z})$. Le système local, quant à lui, se déplace avec le quadcopter, ayant son origine au centre de masse du quadcopter à l'intersection des barres de moteurs, et est défini par $\mathbf{B} (\mathbf{o}', \mathbf{x}', \mathbf{y}', \mathbf{z}')$. Les angles d'Euler (φ, θ, ψ), représentant respectivement le roulis, le tangage et le lacet, sont utilisés pour déterminer l'orientation du système local du quadcopter par rapport au système global au fil du temps. Les angles d'Euler aident à stabiliser le quadcopter en vol en ajustant les vitesses individuelles des moteurs pour maintenir l'équilibre de l'appareil. Ils sont également utilisés dans des applications telles que la photographie aérienne et la navigation autonome. Les calculs de conversion entre les deux systèmes reposent sur l'application de transformations de rotation en utilisant les angles d'Euler, qui peuvent être représentés par des matrices de rotation pour convertir les coordonnées entre les systèmes avec précision et efficacité. En outre, pour effectuer le suivi du quadcopter, des capteurs tels que les gyroscopes et les accéléromètres sont utilisés pour mesurer les angles d'Euler en temps réel et ajuster les commandes de vol en conséquence. [1]

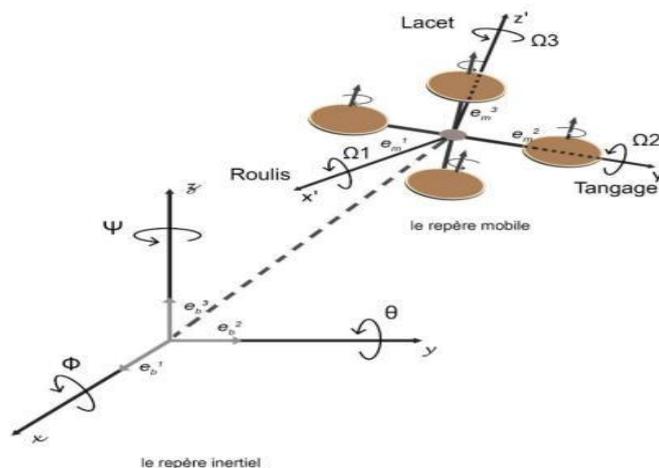


Figure II.3 : Géométrie du quad-copter [1]

II.4.2 Mouvement du quad-copter

Un quadricoptère peut effectuer quatre types de mouvements : le mouvement vertical, le lacet, le tangage et le roulis. Pour déplacer latéralement le quadricoptère, il suffit de modifier la vitesse des rotors afin de générer une poussée dans la direction voulue. [1]

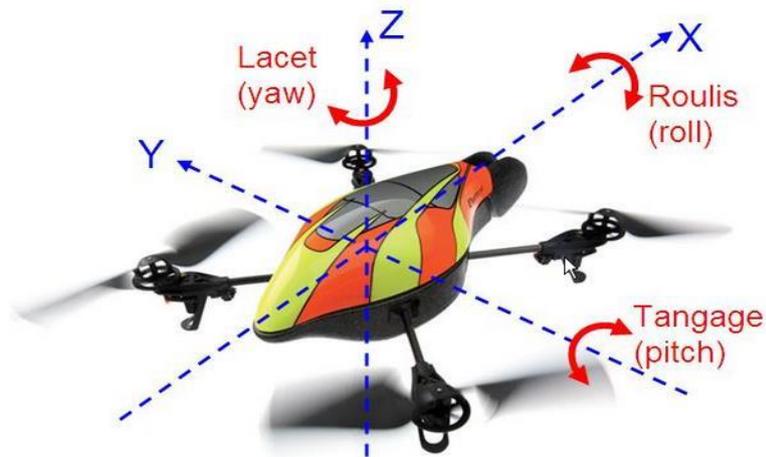


Figure II.4 : Le mouvement du quad-copter [1]

II.4.2.1 Mouvement vertical

Pour monter, la vitesse des quatre moteurs est augmentée de manière égale, ce qui soulève le quadricoptère vers le haut. Pour descendre, la vitesse des quatre moteurs est réduite de manière égale, ce qui fait descendre le quadricoptère. [1]

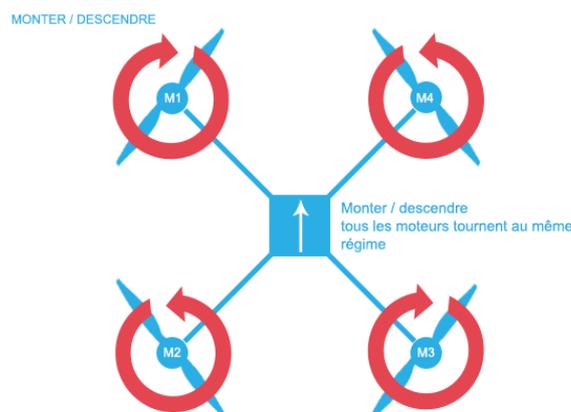


Figure II.5 : Illustration du mouvement vertical [1]

II.4.2.2 Mouvement de roulis (Roll) : Droite / Gauche

Pour se déplacer vers la droite, la vitesse des moteurs de gauche est augmentée tandis que celle des moteurs de droite est réduite, ce qui fait pencher le quadricoptère vers la droite et le fait se déplacer latéralement. Pour se déplacer vers la gauche, la vitesse des moteurs de droite est augmentée tandis que celle des moteurs de gauche est réduite, ce qui fait pencher le quadricoptère vers la gauche et le fait se déplacer latéralement dans l'autre sens. [1]

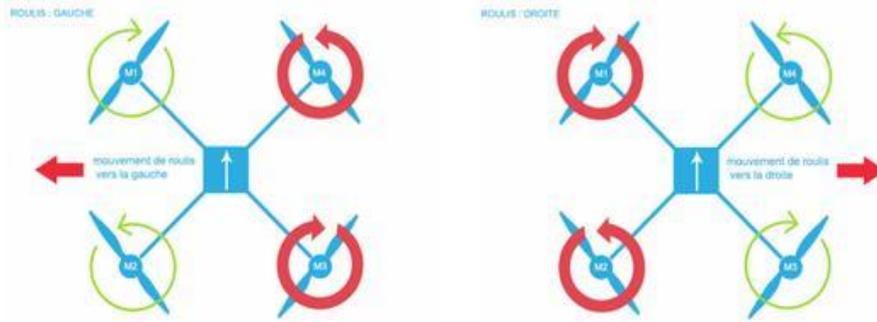


Figure II.6 : Illustration du Mouvement de roulis (Roll) : Droite / Gauche [1]

II.4.2.3 Mouvement de tangage (Pitch) : Avancer / Reculer

Pour avancer, la vitesse des moteurs arrière est augmentée tandis que celle des moteurs avant est réduite. Cela fait pencher le quadricoptère vers l'avant et le fait avancer. Pour reculer, la vitesse des moteurs avant est augmentée tandis que celle des moteurs arrière est réduite, ce qui fait pencher le quadricoptère vers l'arrière et le fait reculer. [1]

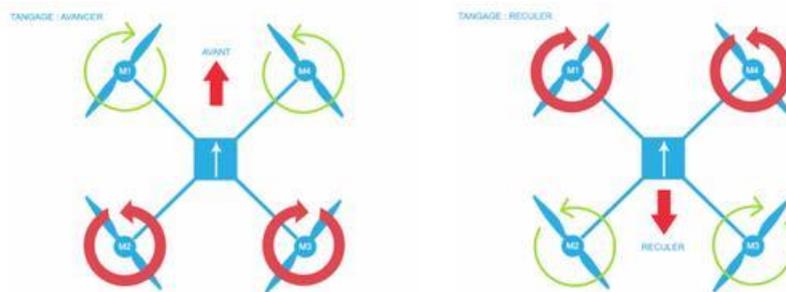


Figure II.7 : Illustration du Mouvement de tangage (Pitch) : Avancer / Reculer [1]

II. 4.2.4 Mouvement de lacet (Yaw) : Rotation

Le mouvement de lacet permet au quadricoptère de pivoter sur lui-même, réalisant ainsi une rotation autour de l'axe (z). Il est réalisé en augmentant la vitesse des moteurs d'une paire située sur le même axe, tandis que la vitesse des moteurs de l'autre paire est réduite. [1]

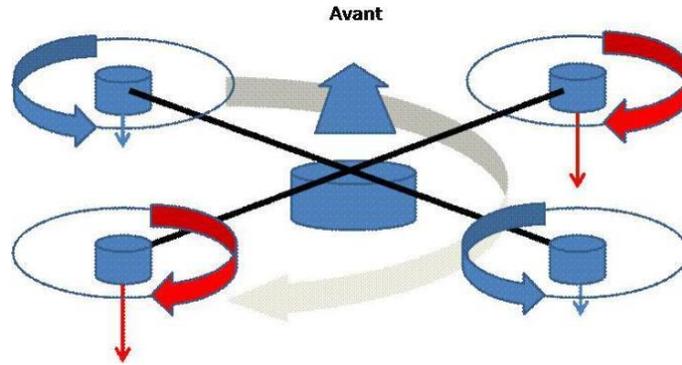


Figure II.8 : Illustration du Mouvement de lacet (Yaw) : Rotation [1]

II.4.3 Les angles d'Euler

Une matrice de rotation orthogonale est souvent utilisée pour définir la coordination entre les systèmes de référence. Dans les applications robotiques, il est courant de paramétrer cette matrice de rotation à l'aide des angles d'Euler. Étant donné que nous travaillons avec des forces conservatrices (comme la gravité qui agit toujours dans la direction Z du repère fixe de la Terre E (O, X, Y, Z)), il est nécessaire d'avoir une matrice de rotation 3D pour les exprimer dans le repère mobile B (o', x', y', z'). Ainsi, les forces seront formulées en fonction des angles respectifs. [1]

- L'angle du Roulis ϕ tel que : $-\frac{\pi}{2} < \phi < \frac{\pi}{2}$
- L'angle du tangage θ tel que : $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$
- L'angle lacet ψ tel que : $-\pi < \psi < \pi$

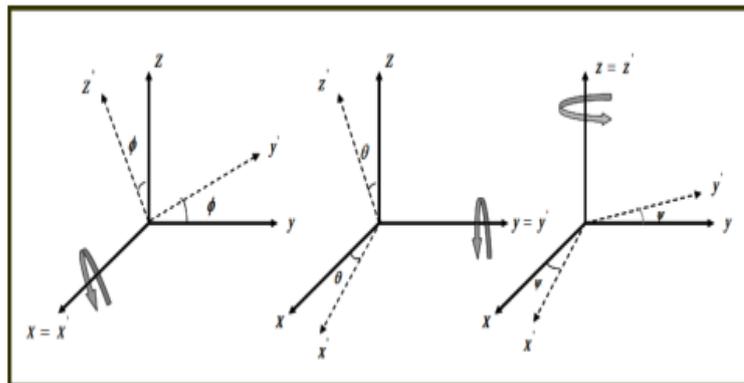


Figure II.9 : Les angles d'Euler [1]

Les trois angles peuvent être représentés sous forme d'une matrice élémentaire et une multiplication peut être effectuée. [1]

$$R = \text{Rot}_x(\psi) \times \text{Rot}_y(\theta) \times \text{Rot}_z(\phi) \dots \dots \dots \text{(II.1)}$$

$$R = \begin{bmatrix} c\psi & -s\psi & 0 \\ s\psi & c\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c\theta & 0 & s\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\theta & 0 & c\theta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\phi & -s\phi \\ 0 & s\phi & c\phi \end{bmatrix} \dots\dots\dots (II.2)$$

$$R = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & s\phi s\theta c\psi - s\psi c\phi & c\phi s\theta c\psi + s\psi s\phi \\ s\psi c\theta & s\phi s\theta s\psi + c\psi c\theta & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi \\ -s\theta & s\phi c\theta & c\phi c\theta \end{bmatrix} \dots\dots\dots (II.3)$$

R : matrice de rotation.

Avec : c = cos et s = sin

II.5. Les efforts physiques agissants sur le quad-copter

II.5.1 Quad-copter stagnant dans les airs

Lorsque le drone reste en vol stationnaire, il est principalement soumis à deux forces physiques. La première est le poids, qui attire l'appareil vers le bas. Pour permettre au quadricoptère de voler, une deuxième force entre en jeu : la portance. Cette force permet au drone de décoller lorsqu'elle devient supérieure à son poids. [1]

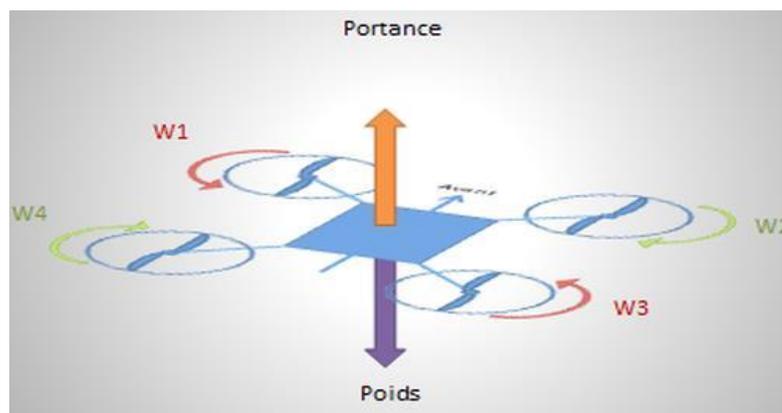


Figure II.10 : Illustration des forces agissantes sur un quad-copter stagnant dans les airs [1]

II.5.1.1 Le poids

Comme tout objet ayant une masse, le drone subit l'attraction gravitationnelle de la Terre. Plus la masse du drone est grande, plus son poids sera élevé. Cette force gravitationnelle maintient le drone au sol. [1] Cette force est exprimée par la formule:

$$P = g \times m \dots\dots\dots (II.4)$$

Avec : P en N, g = 9.81 et m en kg

II.5.1.2 La portance

Cette force agit sur un corps en mouvement dans un fluide et s'exerce perpendiculairement à la direction du mouvement. Pour le quadricoptère, la portance agit sur ses quatre hélices. Lorsque

l'air rencontre l'hélice, la partie supérieure, appelée extrados, et la partie inférieure, appelée intrados, créent des différences de pression. L'air passant au-dessus de l'extrados doit parcourir un chemin plus long, ce qui augmente sa vitesse et diminue la pression (dépression) par rapport à l'intrados. [1]

L'air passant au niveau de l'intrados a une vitesse plus faible, ce qui entraîne une pression plus élevée (surpression). [1]

La combinaison de la surpression et de la dépression génère la portance, qui tire l'hélice vers le haut. [1]

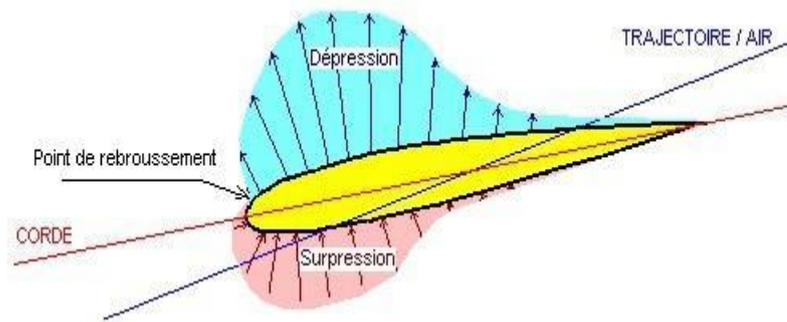


Figure II.11 : Aile d'une Hélice [1]

$$F_p = 1/2 \times \rho \times V^2 \times S \times C_p \dots\dots\dots (II.5)$$

Avec : F_p en N.

ρ : densité de l'air 1.2 Kg/m³.

V : la vitesse du vent en m/s.

S : la surface de l'aile en m².

C_p : coefficient de portance.

II.5.2 Quad-copter en mouvement avançant dans les airs

Lorsque le drone se déplace dans les airs, deux autres forces s'ajoutent au poids et à la portance. La force qui propulse l'aéronef en avant est la poussée, générée par l'accélération du gaz produite par le moteur. La dernière force est la traînée, qui est la résistance de l'appareil à la poussée. Elle entraîne l'aéronef vers l'arrière. [1]

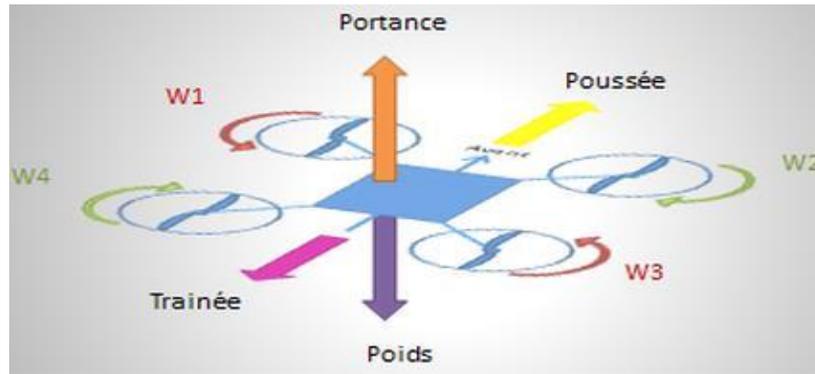


Figure II.12 : Illustration des forces agissantes sur un quad-copter en mouvement [1]

II.5.2.1 La traînée

La traînée est une force de résistance exercée par le vent sur un objet qui se déplace, s'opposant ainsi à son mouvement. Elle provoque le recul du drone en augmentant la vitesse des moteurs avant. Cette force est parallèle au vent qui s'oppose au déplacement. [1]

La formule permettant de calculer cette force est la suivante :

$$FT = 1/2 \times \rho \times V^2 \times S \times CT \dots\dots\dots (II.6)$$

Avec : FT en N

ρ : la masse volumique de l'air, $\rho = 1.2 \text{ Kg/m}^3$.

V : vitesse du vent en m/S.

S : la surface de l'aile en m^2 .

CT coefficient de traînée.

II.5.2.2 La poussée

Cette force est générée par le moteur. Elle découle de l'accélération des deux moteurs arrière, permettant, lorsqu'elle est supérieure à la force de traînée, de faire avancer le drone. Ainsi, elle s'oppose à la force de traînée. [1]

On peut déterminer cette force en utilisant la formule suivante :

$$FPoussée = \rho \times n^2 \times D^4 \times CPoussée \dots\dots\dots (II.7)$$

Avec : FT en N

ρ : la masse volumique de l'air $\rho = 1.2 \text{ Kg/m}^3$.

n : vitesse de rotation de l'hélice en tours/s

D : diamètre de l'hélice.

$C_{poussée}$: coefficient de poussée.

II.5.2.3 Effet gyroscopique

Tout objet en rotation autour d'un axe est soumis à l'effet gyroscopique. Cela signifie qu'il conserve son axe de rotation ou, de manière plus précise, son moment angulaire. [1]

Le terme "gyroscope" est formé de deux mots d'origine grecque : "gyro" qui signifie rotation, et "scope" qui désigne observer. L'effet gyroscopique est ainsi nommé en référence au fonctionnement du gyroscope, un dispositif de mesure de mouvement largement utilisé dans l'aviation. [1]

Dans le domaine de l'aviation, il existe deux types de moments gyroscopiques : le premier est lié au moment gyroscopique des hélices, et le second est le moment gyroscopique résultant des mouvements du quadricoptère. [1]

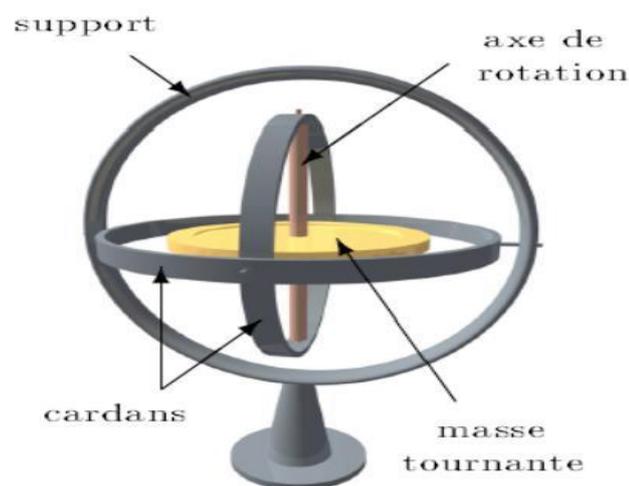


Figure II.13 : Effet gyroscopique [1]

II.6. Le PID (proportionnel-intégral-dérivé)

Le contrôleur PID (proportionnel-intégral-dérivé) est largement employé dans de nombreux systèmes de contrôle en tant que mécanisme de rétroaction. Son rôle est de stabiliser une variable de sortie, telle que la position, la vitesse ou la température, à une valeur cible en régulant une variable d'entrée comme la vitesse, la puissance ou le débit du moteur. [2]

Pour déterminer la variable de sortie, le contrôleur PID utilise trois termes distincts, chacun dépendant de l'écart entre la valeur souhaitée et la valeur réelle de cette variable. [2]

La contribution du terme proportionnel (P) est proportionnelle à la différence actuelle entre la valeur désirée et la valeur réelle. Sa pondération augmente en fonction de l'importance de cet écart. [2]

Chapitre II : Aérodynamique d'un drone quad-copter

Le terme intégral (I) est lié à la somme de tous les écarts précédents entre la valeur désirée et la valeur réelle, ce qui permet de corriger les erreurs de biais à long terme. [2]

Le terme dérivé (D) est proportionnel à la vitesse de variation de l'écart. Son rôle est d'anticiper les changements à venir et de limiter les oscillations indésirables. [2]

Les trois composantes du contrôleur PID sont combinées pour calculer une sortie qui réduit au minimum la différence entre la valeur prévue et la valeur réelle. Chaque composant peut être ajusté pour s'adapter aux besoins spécifiques du système. [2]

Lors du calcul du contrôleur PID, plusieurs paramètres doivent être pris en compte et sélectionnés en fonction des caractéristiques spécifiques du système nécessitant une régulation. Ces paramètres, couramment désignés sous le nom de gains de contrôle, sont représentés par les symboles K_p , K_i et K_d , qui correspondent respectivement aux composantes proportionnelle, intégrale et dérivée. [2]

Les valeurs de ces gains peuvent être déterminées de manière empirique en les ajustant jusqu'à ce que le contrôleur satisfasse aux critères souhaités. Cependant, il existe également des méthodes plus structurées pour évaluer les valeurs de gain appropriées. [2]

La méthode de Ziegler-Nichols est l'une des approches les plus répandues pour calculer les valeurs de gain d'un régulateur PID. Cette méthode implique l'application d'un échelon de commande à l'entrée du système, suivi de l'observation de la réponse résultante. En fonction des observations, les gains sont ensuite ajustés pour améliorer les performances globales du système. [2]

La méthode Ziegler-Nichols implique un processus spécifique où le gain proportionnel est initialement ajusté jusqu'à ce que le système commence à osciller à une fréquence constante. La valeur du gain proportionnel qui provoque cette oscillation est appelée le gain critique (K_c). Ensuite, les valeurs de K_i et K_d sont déterminées en fonction de la valeur de K_c . [2]

Prenons un contrôleur PID avec action proportionnelle seule (P) : K_p est calculé en utilisant l'équation $K_p = 0.5 \times K_c$. [2]

Dans un contrôleur PID à action proportionnelle-intégrale (PI), les coefficients sont définis comme suit : $K_p = 0.45 \times K_c$ et $K_i = 1.2 \times K_p / T$. [2]

Où K_c est le gain critique et T est le temps de montée du système.

Dans un contrôleur PID à action proportionnelle-intégrale-dérivée (PID), les coefficients sont définis comme suit. [2] :

$$K_p = 0.6 \times K_c$$

$$K_i = 1.2 \times K_p / T$$

$$K_d = 0.075 \times K_p \times T$$

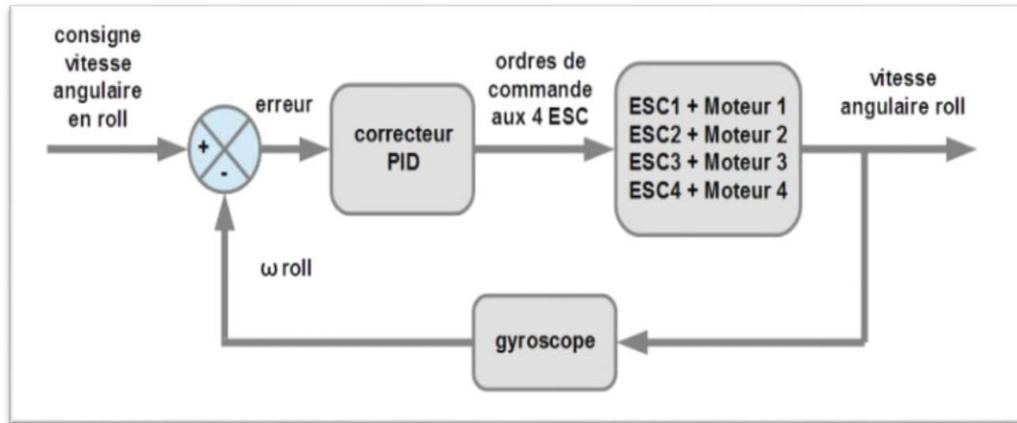


Figure II.14 : Structure du PID d'un drone quadricoptère

Il convient de souligner que ces valeurs ne constituent que des recommandations initiales et que les gains du contrôleur PID doivent être ajustés en fonction des caractéristiques spécifiques du système à contrôler. [2]

II.7. Conclusion

L'aérodynamique des drones quadricoptères joue un rôle crucial dans leur conception, leur stabilité et leurs performances en vol. Comprendre les principes fondamentaux de l'aérodynamique, tels que la portance, la traînée et la stabilité, est essentiel pour optimiser le design et le contrôle des drones. Les quadricoptères exploitent des mécanismes aérodynamiques subtils pour générer la portance et contrôler leur mouvement dans l'air, ce qui permet une manœuvrabilité précise et une stabilité en vol. Des recherches continues dans le domaine de l'aérodynamique des drones contribuent à améliorer la performance, l'efficacité et la sécurité de ces appareils dans une gamme toujours plus large d'applications, allant de la photographie aérienne à la surveillance environnementale, en passant par la livraison de colis et la recherche et le sauvetage.

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un drone quad-copter

Chapitre III : Conception et Réalisation d'un drone quad-copter

III .1. Introduction

Le choix des matériaux utilisés dans la construction du quadricoptère est crucial pour garantir un bon fonctionnement. Une mauvaise sélection des matériaux pour l'un des composants peut entraîner des problèmes tels que l'instabilité. Le choix approprié des matériaux améliore les performances et assure la durabilité et la fiabilité du quadricoptère.

Nous diviserons ce chapitre en sections. La première section abordera la liste des composants, tandis que la deuxième partie portera sur la programmation du drone. Autrement dit, nous parlerons de la façon d'équilibrer le drone.

III .2. Cahier des charges

L'objectif principal de ce petit projet est de créer un drone et de le faire voler de manière stable

III. 3. Planification du mini projet

Pour créer ce projet, nous l'avons divisé en plusieurs tâches afin de faciliter le travail

Tache (1) : Effectuer une recherche documentaire pour l'étude du projet est une étape essentielle. Cela aide à identifier des sources fiables et à collecter les données nécessaires pour assurer le succès du projet et atteindre ses objectifs.

Tache (2) : Demander les composants depuis laboratoire

Tache (3) : Commencez à installer les composants et à assembler le projet

Tache (4) : programmation de Arducopter APM 2.8.

Tache (5) : tests du drone

III .4. Liste des composant

III .4.1 Châssis

La structure principale d'un drone quadricoptère est le châssis, qui assure le soutien et la liaison de tous ses composants essentiels. Il offre une base solide et stable pour le montage des moteurs, des hélices, de l'électronique de contrôle, de la batterie, et d'autres éléments. Habituellement conçu pour être léger mais résistant, le châssis vise à minimiser le poids total tout en garantissant la durabilité du drone. Les matériaux couramment utilisés incluent le plastique, la fibre de carbone et l'aluminium. La conception du châssis peut

varier selon l'application et les préférences du constructeur. Cependant, la plupart des châssis de drones quadricoptères sont constitués d'un cadre principal central et de bras qui s'étendent à partir de ce cadre, formant ainsi une structure en forme de "X" ou de "+". Les moteurs sont fixés à chaque bras du châssis, et les hélices sont montées sur ces moteurs. L'électronique de contrôle, comme la carte de contrôle de vol et les contrôleurs de vitesse des moteurs (ESC), est généralement installée sur le châssis, souvent au centre ou dans un compartiment dédié. [2]



Figure III .1 : F450 Frame [14]

Caractéristiques [14]

- Connexions PCB intégrées pour le soudage direct de vos ESC
- Manchons en laiton pré-filetés pour tous les boulons du cadre
- Bras colorés pour l'orientation pour vous permettre de voler dans la bonne direction.
- Grandes languettes de montage sur la plaque inférieure du cadre principal pour un montage facile de la caméra.
- Assemblage facile.

Spécifications

- Largeur : 450 mm
- Hauteur : 55 mm

- Poids : 280 g (sans électronique)
- Trous de boulons de montage du moteur : 16/19 mm
- G. Poids : 395 g
- Empattement : 17,7 po/450 mm
- Poids net : 272 g

III .4.2 Moteurs brushless

Le principal désavantage des moteurs à courant continu réside dans la présence des balais, lesquels engendrent des frottements, des interférences et restreignent la durée de vie du moteur en raison de l'usure. Afin de prévenir ces difficultés, nous optons pour l'utilisation de moteurs sans balais. [2]

En dehors du collecteur, un moteur sans balais possède les mêmes éléments qu'un moteur à courant continu, à ceci près que les bobines et les aimants permanents sont disposés de manière inversée. Le rotor est composé d'un ou de plusieurs aimants permanents, tandis que le stator est constitué de plusieurs enroulements. [2]

Le moteur brushless est un moteur électrique qui repose sur l'utilisation d'aimants permanents pour générer un champ magnétique et entraîner la rotation du rotor. [15]

• **Composition du moteur brushless**

Un moteur sans balais possède des composants similaires à ceux d'un moteur à courant continu, à l'exception du collecteur. Cependant, les positions des bobines et des aimants permanents sont inversées. Le rotor est constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents, tandis que le stator est composé de plusieurs enroulements. [1]

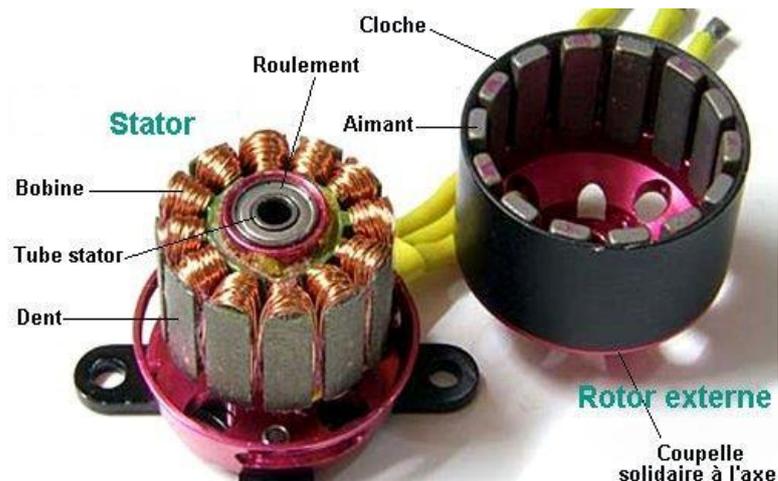


Figure III.2 : Composition du moteur brushless. [1]

•Fonctionnement du moteur brushless simple

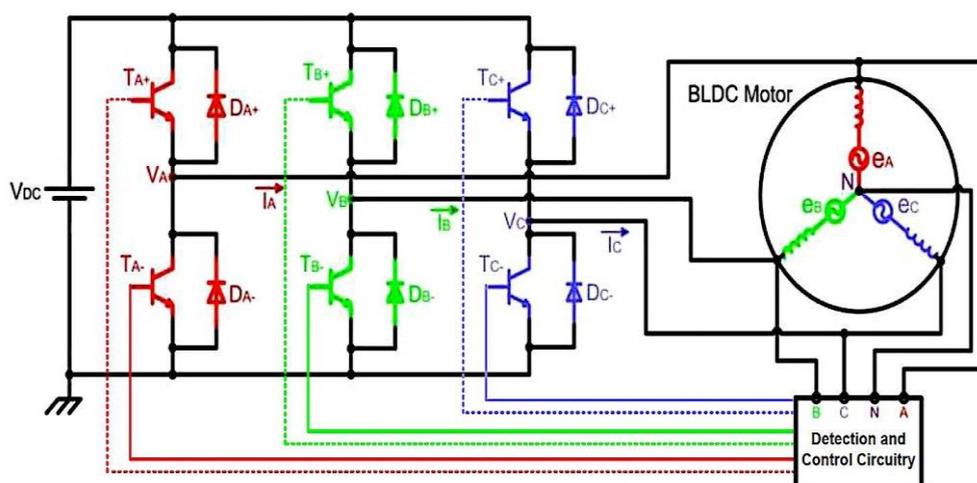


Figure III.3 : Fonctionnement du moteur brushless. [1]

Dans un moteur brushless, la commutation des enroulements n'est pas effectuée mécaniquement, mais électroniquement par un contrôleur de vitesse (ESC). Cet appareil convertit le courant continu en courant triphasé à fréquence ajustable, puis alimente séquentiellement les enroulements du moteur afin de générer le champ tournant nécessaire à la rotation souhaitée. Il est clair que selon ce principe d'alimentation, il est essentiel que les bobines demeurent fixes dans le moteur, et ne tournent pas comme c'est le cas dans un moteur à balais (brushed). Ainsi, tous les moteurs brushless présentent une architecture de construction similaire : un stator immobile contenant les bobines, et un rotor en mouvement sur lequel sont fixés les aimants permanents. [1]

Parmi les bénéfices du moteur sans balais, on peut citer une haute efficacité et une résistance accrue à l'usure. En plus d'améliorer la précision du contrôle, la durabilité et la réactivité aux commandes doivent également être optimisées. De plus, ils sont plus simples à entretenir que les moteurs à

balais. De surcroît, il propose un couple de démarrage supérieur à celui des moteurs classiques, ce qui favorise une accélération plus rapide. [15]

Le type de moteur à notre drone :



Figure III .4: 980KV EMAX XA2212 Moteur Brushless. [2]

Specification : [2]

- KV Values: 980KV
- Voltage: DC 8~12V
- Trust: 550~880G
- Efficiency: 7.2~4.9G/W
- Prop size: APC 11*4.7
- Current: 9.5~15.1A
- Power: 76~181.2W
- Rotation Speed: 5470~6960RPM

XA : Cela peut indiquer la marque ou le modèle spécifique du moteur.

2212 :

22 : Indique le diamètre du stator en millimètres.

12 : Indique la hauteur du stator en millimètres.

980 KV : Cela signifie que le moteur tournera à 980 RPM pour chaque volt appliqué.

III. 4.2 Contrôleur de vitesse électronique (ESC)

Les variateurs électroniques de vitesse (ESC), utilisés pour contrôler la vitesse des moteurs sans balais, fonctionnent de la manière suivante : ils reçoivent un signal PWM du récepteur de la télécommande ou d'un contrôleur, puis actionnent les moteurs en conséquence. Un contrôleur électronique de vitesse (ESC) se compose de deux câbles d'alimentation (positif et négatif) reliés à la batterie, de trois câbles pour ajuster la vitesse et potentiellement fournir de l'énergie à un

récepteur ou un contrôleur (positif, négatif, données), ainsi que de trois câbles de sortie pour actionner le moteur. [16]

Les contrôleurs électroniques de vitesse (ESC) revêtent une importance capitale pour les drones, car ils assurent un contrôle minutieux et délicat de la vitesse ainsi que de la direction du moteur. Cela est primordial afin d'assurer la stabilité en vol et de réaliser des manœuvres sophistiquées comme des virages serrés et des acrobaties aériennes. Les variateurs électroniques de vitesse modernes peuvent aussi être configurés pour des fonctions spécifiques, comme le retour automatique en cas de perte du signal radio. [2]



Figure III .5 : Electronique Speed Controller 30A. [2]

III .4.3 Les Hélices

Les hélices employées pour les drones sont spécifiquement élaborées afin de satisfaire aux exigences particulières de ces appareils et peuvent varier en termes de dimensions, de configuration et de composition, en fonction de l'usage auquel le drone est destiné. En ce qui concerne les hélices employées par d'autres moyens de transport tels que Les hélices des drones sont généralement de dimensions réduites et présentent un poids moindre par rapport à celles des avions ou des navires. Les dimensions et la cadence de rotation des hélices de drone sont des éléments déterminants pour influencer sur la nature de la force propulsive produite et sur la vitesse de rotation des hélices. Les hélices à pas réduit offrent une meilleure maniabilité et une réactivité accrue aux commandes. En revanche, les modèles dotés de pas plus élevés peuvent fournir une force de levage accrue pour déplacer des charges plus importantes. [2]

Les hélices des drones peuvent être fabriquées à partir d'une variété de matériaux, tels que le plastique, les composites de carbone, les métaux légers ou une combinaison de ces matériaux. Il est essentiel de veiller à ce que les hélices soient équilibrées de manière adéquate afin de prévenir les vibrations indésirables susceptibles de causer des perturbations au niveau des performances et de la stabilité du drone. [2]



Figure III .6 : hélices. [2]

Nous utiliserons ce type d'hélices pour notre drone. [2]

Détails

- 1 hélice CW et 1 hélice CCW
- 12 Adaptateurs
- Diamètre : 10" (25,4 cm)
- Pas : 4.5" (11,43 cm)
- Alésage : 3MM 4MM 5MM 6MM 7.8MM
- Moteur recommandé : 800KV-1100KV
- Empattement conseillé : 550mm-700mm
- Couleur : Noir

III .4.4 Batterie

Les batteries les plus fréquemment employées sont généralement de technologie LiPo (Lithium Polymère). Les batteries LiPo demeurent des accumulateurs électrochimiques dont la réaction repose sur le lithium, non pas sous forme ionique (comme les batteries Li-ion), mais sous forme polymère (où l'électrolyte est gélifié), ce qui les rend plus sécuritaires que leurs homologues aux ions Li. En ce qui concerne les batteries au nickel-métal hydrure, on peut noter de nombreux avantages. [2]

Les batteries au lithium polymère sont réputées pour leur densité énergétique élevée, ce qui implique qu'elles ont la capacité de stocker davantage d'énergie dans un volume moindre par rapport à d'autres catégories de batteries. Leur faible poids et leur fort courant de sortie les rendent particulièrement adaptés aux applications nécessitant des performances élevées. [2]

Toutefois, il est impératif de manipuler et de recharger les batteries au lithium polymère avec précaution afin d'assurer une utilisation sécurisée. Une surcharge, une surchauffe ou une perforation d'une batterie au lithium polymère peut entraîner un incendie ou une explosion. [2]

Veillez systématiquement à respecter les directives et les mesures de sécurité préconisées par le fabricant lors de la manipulation et de la conservation des batteries au lithium polymère. [2]

Le type de batterie utilisé pour notre drone est le suivant : Batterie Lipo 3S 3300mah



Figure III .7 : Batterie Lipo 3S 3300mah. [2]

III. 4.5 Radio-commande

Le dispositif de commande à distance La RadioLink est un dispositif de commande à distance employé pour piloter divers engins tels que les drones, les avions radiocommandés, les voitures radiocommandées, les bateaux, ainsi que d'autres dispositifs électroniques. Il est conçu par RadioLink Technologie Co. Ltd., une entreprise spécialisée dans la conception et la fabrication de systèmes de contrôle à distance pour les applications RC. [2]

Les télécommandes RadioLink exploitent la technologie de transmission de signal sans fil afin d'établir une communication avec un récepteur électronique intégré à l'appareil RC. Selon le modèle, sa plage de contrôle peut s'étendre sur plusieurs centaines de mètres, selon le modèle. [2]

La gamme de produits RadioLink se décline en divers modèles, chacun offrant des fonctionnalités et des spécifications spécifiques afin de satisfaire les exigences variées des différents types d'appareils de modélisme RC. Elle est réputée pour sa convivialité, sa fiabilité et sa précision de contrôle. [2]

Le Radiolink T8FB a été employé pour contrôler notre drone.

- **T8FB Specifications:** [2]
T8FB (BT) size: 173*102*206mm (6.8"*4"*8.11").
R8EF size: 41.5*21.5*11.5mm (1.63"*0.85"*0.45").
Weight (with R8EF): 0.47kg (13.05oz).
Output Frequency: 2.4GHz ISM band (2400MHz~2483.5MHz)
Spread Spectrum: 67 channels.
PWM Output Range: 1.0ms~2.0ms.
T8FB (BT) operating voltage: 4.8V~18V.



Figure III .8: Radiolink T8FB. [2]

III .4.6 Récepteur R8EF [17]

Le récepteur R8EF de Radiolink, doté de huit voies, est compatible avec l'émetteur T8FB de la même marque.

Il possède huit canaux de sortie PWM, mais il a la possibilité d'être configuré en mode mixte SBUS/PPM/PWM.

- **Caractéristiques**
 - Bande : 2.4GHz
 - Récepteur compatible PWM/SBUS/PPM
 - Nb de voies : 8 en mode classique (LED rouge)
 - Tension d'alimentation : 4,8 - 10V
 - Consommation : 30mA sous 5V
 - Dimensions: 48x21x11 mm
 - Poids : 7 gr
 - Portée annoncée : 500m au sol / 1000m en l'air



Figure III .9 : Récepteur R8EF. [2]

III .4.7 ARDUOPTER APM 2.8

La carte de contrôle de vol open source ArduCopter APM 2.8 est largement utilisée pour piloter les drones multi-rotors. Le dispositif repose sur la plateforme Arduino, intégrant un microcontrôleur Atmega2560, ainsi que des capteurs tels qu'un accéléromètre, un gyroscope, un magnétomètre, un baromètre et un GPS. [2]

La carte APM 2.8 est programmable en utilisant le logiciel open source Mission Planner, qui offre la possibilité de paramétrer les caractéristiques de vol, de prévoir des missions aériennes, d'étalonner des capteurs et de visualiser les données de vol en direct. [2]

L'ArduCopter APM 2.8 propose aux développeurs et aux passionnés de drones une grande souplesse et une facilité d'utilisation considérables, ce qui en fait une option prisée pour les projets de drones DIY (Do It Yourself) ou les applications professionnelles comme la cartographie, la surveillance et la photographie aérienne. Toutefois, il convient de souligner que cette carte est quelque peu obsolète, des versions plus récentes et plus avancées sont disponibles pour cette plateforme. [2]

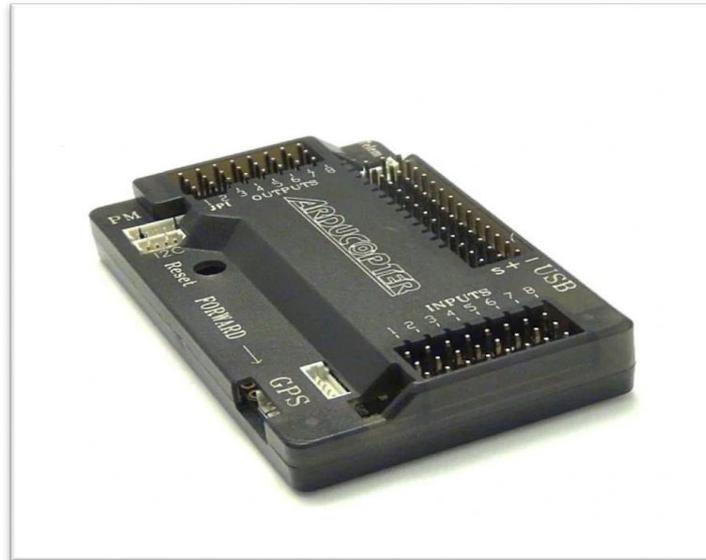


Figure III .10 : Arducopter APM 2.8. [2]

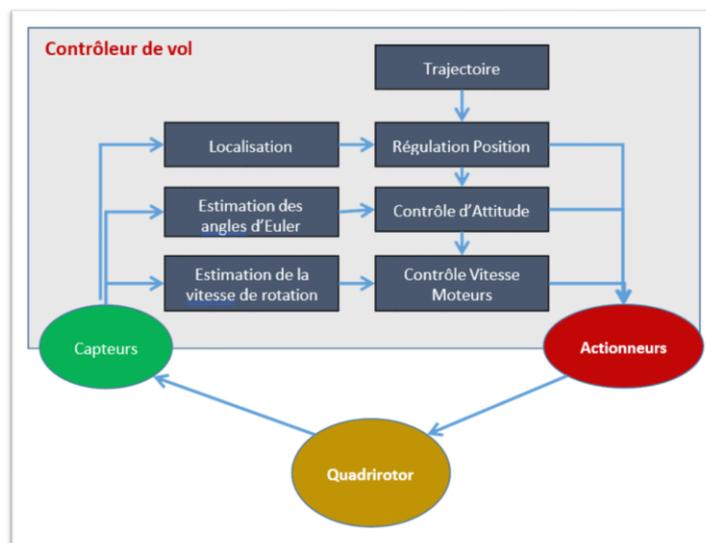


Figure III .11 : le rôle de contrôleur de vol. [2]

III .4.8 Gyroscope et un Accéléromètre [2]

Pour évaluer ses déplacements et sa direction, l'ArduCopter fait appel simultanément à un gyroscope et à un accéléromètre pendant le vol.

Le gyroscope a pour fonction d'évaluer la vitesse de rotation du drone le long de ses trois axes : roulis, tangage et lacet. En fournissant des données précises sur les variations de la vitesse de rotation, le gyroscope permet au contrôleur de vol de garantir la stabilité et le contrôle en vol.

L'accéléromètre permet de mesurer l'accélération linéaire du drone selon trois axes spatiaux (x, y et z). Cela lui permet de repérer les actions du drone, telles que son inclinaison, son déplacement et son accélération. Le contrôleur de vol exploite ces données afin de garantir la stabilité du drone et de contrôler sa position en vol.

En résumé, les gyroscopes et les accéléromètres sont indispensables pour assurer la stabilité et le contrôle des quadcoptères. Le gyroscope fournit des données concernant la vitesse angulaire afin de stabiliser et réguler l'orientation, tandis que l'accéléromètre quantifie les accélérations linéaires pour détecter les mouvements et l'inclinaison. Ensemble, ces éléments permettent au quadcoptère de maintenir une position stable, de naviguer avec précision et d'exécuter des manœuvres complexes.

III. 4.9 Module GPS

Un module GPS est un composant essentiel qui assure la précision du positionnement, de la navigation et du contrôle de vol de votre drone. [18]

Tout d'abord, le module GPS est utilisé pour recevoir les signaux. Un réseau mondial de satellites en orbite transmet des signaux reçus par le module GPS via des récepteurs radio. Ces signaux permettent au module de déterminer sa position, sa vitesse et l'heure. L'accès à un plus grand nombre de signaux et de systèmes accroît la précision du positionnement, améliorant ainsi toutes les fonctions liées au GPS du drone. [19]

L'incorporation d'un module GPS associé à une boussole dans un quadcoptère offre des fonctionnalités avancées en termes de navigation et de stabilisation. Le système de positionnement global fournit des données essentielles sur la localisation, alors que la boussole garantit une orientation précise. Ensemble, ces fonctionnalités incluent le vol stationnaire précis, la navigation autonome et le retour automatique à la base. Une compréhension approfondie du câblage et de la configuration de ces composants est indispensable pour garantir leur fonctionnement optimal. [19]

Il s'agit du type utilisé pour notre drone :



Figure III .12: UBLOX M8N GPS Module with Compass. [20]

III. 4.10 Schéma Fonctionnel [2]

Même si la configuration opérationnelle d'un drone peut varier en fonction de sa catégorie et de son degré de complexité, on retrouve généralement certains éléments essentiels dans la structure d'un drone.

Les moteurs et les composants électroniques fonctionnent grâce à l'énergie provenant d'une batterie rechargeable.

Le contrôleur de vol représente l'élément central d'un drone, jouant le rôle de son processeur principal. Il est responsable de l'analyse des données provenant de divers capteurs afin d'assurer la stabilité du vol, de contrôler la vitesse du drone et de guider sa trajectoire.

Le déplacement du drone est permis par des moteurs qui le propulsent vers l'avant, tandis que la portance requise pour son décollage est générée par des hélices.

Afin d'assurer la stabilité en vol, les drones font appel à divers capteurs tels que le gyroscope, l'accéléromètre et le système de positionnement global (GPS) pour quantifier leurs déplacements, leur orientation et leur localisation géographique.

Le dispositif émetteur-récepteur radio revêt une importance capitale en permettant le contrôle à distance du drone au moyen d'un appareil dédié.



Figure III .13: Schéma Fonctionnel [2]

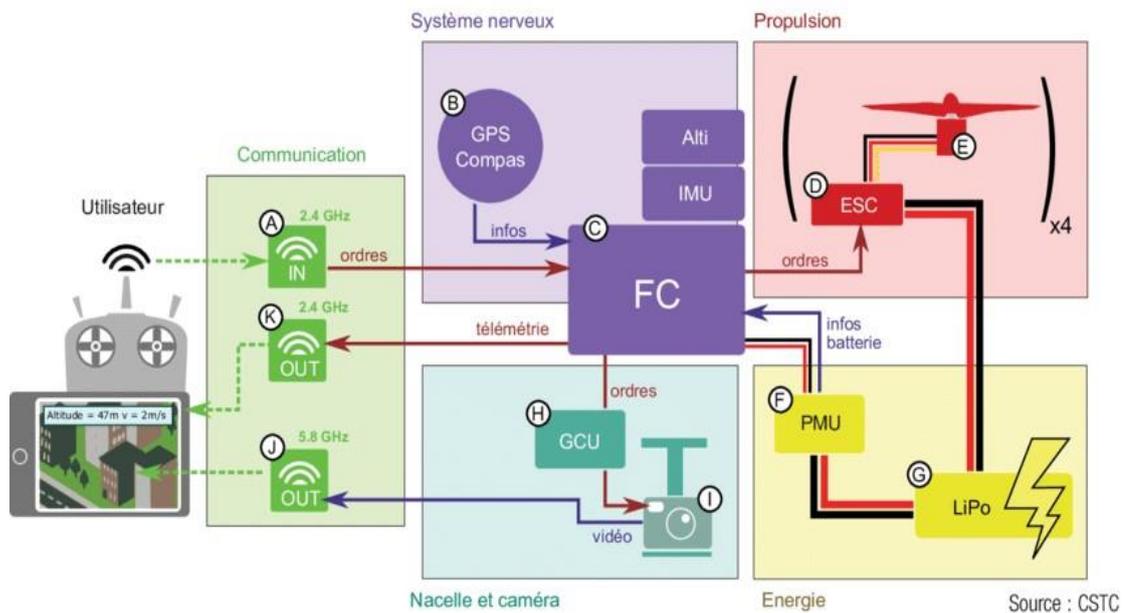


Figure III .14: Schéma simplifié du fonctionnement d'un quadricoptère. [21]

III .4.11 Schéma structurel

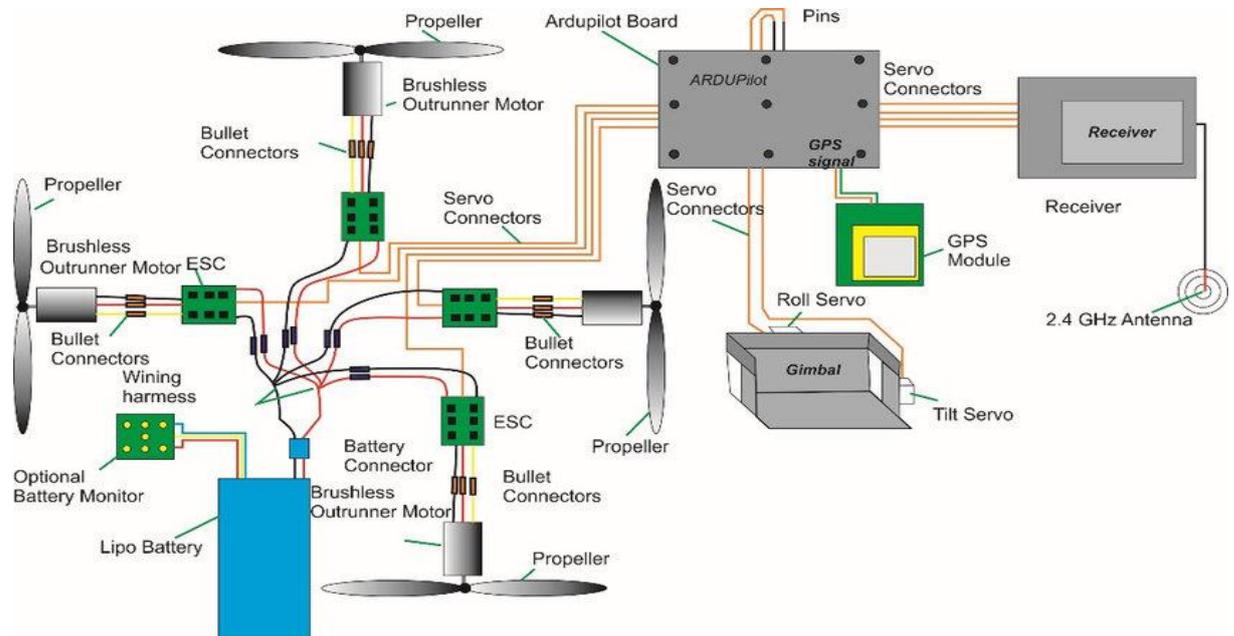


Figure III .15: montage d'un arducopter drone quadcopter. [22]

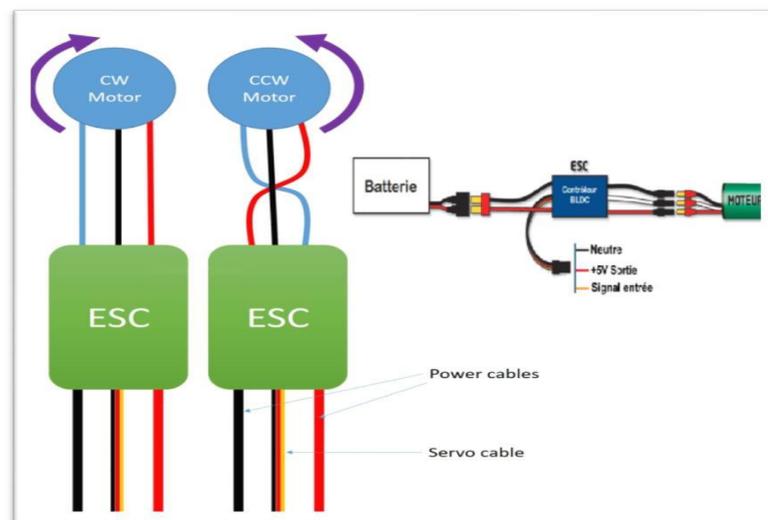


Figure III .16: montage de variateur de vitesse avec les moteurs. [2]

III .5. Programmation du drone

Une fois les composants du quadricoptère discutés, nous procédons à leur installation. Une fois cette étape achevée, nous entamons la phase de programmation afin d'assurer des performances optimales.

III .5.1 logiciel Mission Planner

Mission Planner est un logiciel open source développé dans le but de fonctionner comme une station de contrôle au sol virtuelle pour vos engins aériens, qu'il s'agisse d'hélicoptères, d'avions ou de rovers. Cette application vous offre la possibilité de paramétrer les diverses configurations de votre appareil autonome afin de garantir son fonctionnement optimal. [23]

La configuration de Mission Planner se révèle être une tâche simple et rapide, notamment lorsqu'il s'agit de suivre les instructions incluses dans le kit d'installation une fois le fichier décompressé. Dès l'ouverture de l'application, il est possible d'établir une connexion avec l'Autopilote afin de piloter le véhicule terrestre ou aérien à travers le programme. [23]

Avec l'application Mission Planner, les utilisateurs ont la possibilité de : [2]

- Configurer les paramètres de vol incluant les limites de vitesse, les angles de stabilisation et les modes de vol.
- Ajuster les capteurs du drone afin d'assurer leur précision et leur fiabilité.
- Observer en direct les données de vol, incluant la position, la vitesse, l'altitude et les informations du GPS.

III .5.2 Programmation du Arducopter avec Mission Planner [24]

Étape 1 — Installation de Mission Planner et Connexion avec APM

Il peut être utilisé pour programmer les contrôleurs de vol APM et Pixhawk. Pour connecter votre contrôleur de vol APM à un PC, utilisez un câble USB vers MicroUSB. Une LED verte s'allumera et une LED rouge commencera à clignoter. L'ordinateur identifiera la carte Bordas "Arduino Mega" et installera automatiquement les pilotes requis. Ouvrez le logiciel Mission Planner et choisissez le port COM approprié dans le coin supérieur droit, puis sélectionnez le débit en bauds à 115200. Il est recommandé de ne pas encore cliquer sur "Se connecter" situé en haut à droite.



Figure III .17 : Connecter L'APM sur Mission Planner.

Accédez maintenant à l'onglet "INITIAL SETUP" et cliquez sur "Install Firmware", puis sélectionnez le type de configuration Multirotor. Nous allons procéder à la sélection d'une configuration de Quadrotor. Pour continuer, veuillez accorder des autorisations supplémentaires, puis la mise à jour du micrologiciel débutera.

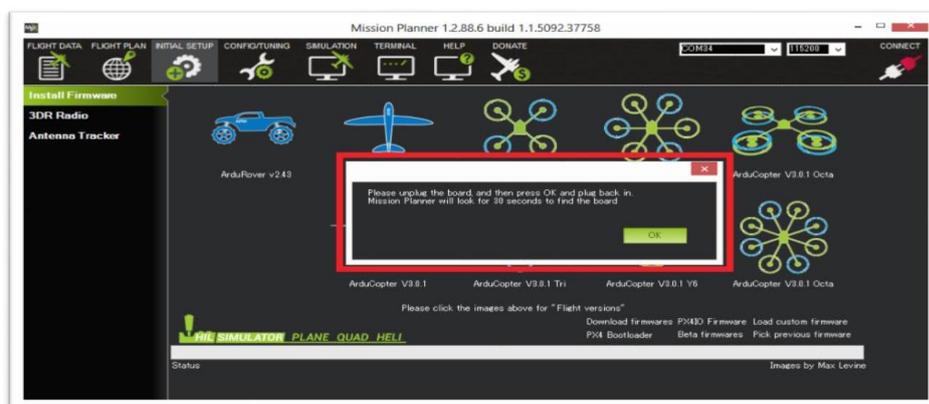


Figure III .18: Installation du system quadricopter.

Le démarrage du micrologiciel sur la carte APM prendra de 2 à 3 minutes (Assurez-vous que votre ordinateur est connecté à Internet car il téléchargera certains fichiers requis). Une fois terminé, cliquez sur le bouton "CONNECT" situé dans le coin supérieur droit de la fenêtre pour connecter la carte APM au PC. Le dispositif sera désormais affiché sous le nom de "Quadrotor".

Étape 2 – Étalonnage de la boussole et de l'accéléromètre

Retournez maintenant à l'onglet Configuration Initiale et cliquez sur "Mandatory Hardware".

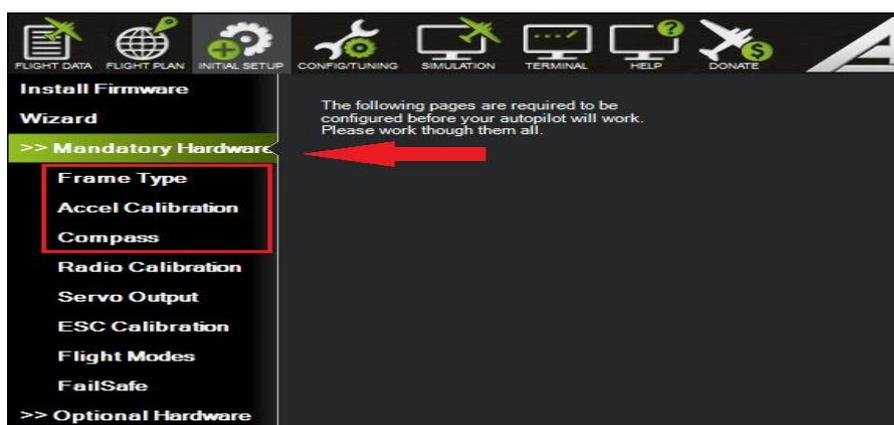


Figure III .19 : Début de la configuration.

Commencez par sélectionner le type de châssis, en optant pour le type de châssis X pour votre drone.

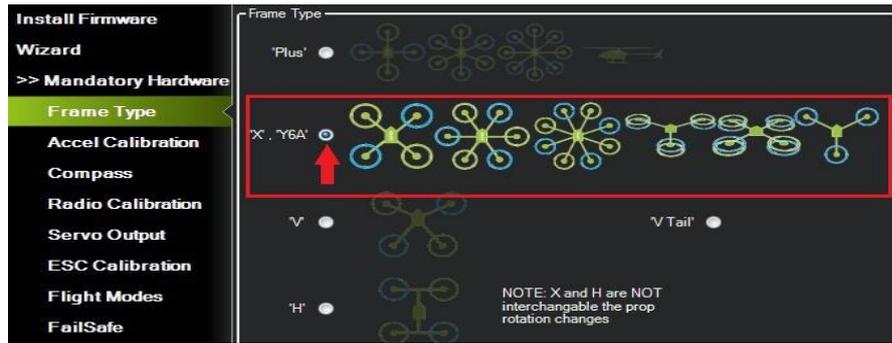


Figure III .20: Configuration du châssis.

Ensuite rendez-vous dans la section Calibration de l'accéléromètre et cliquez sur Calibrer l'accéléromètre.

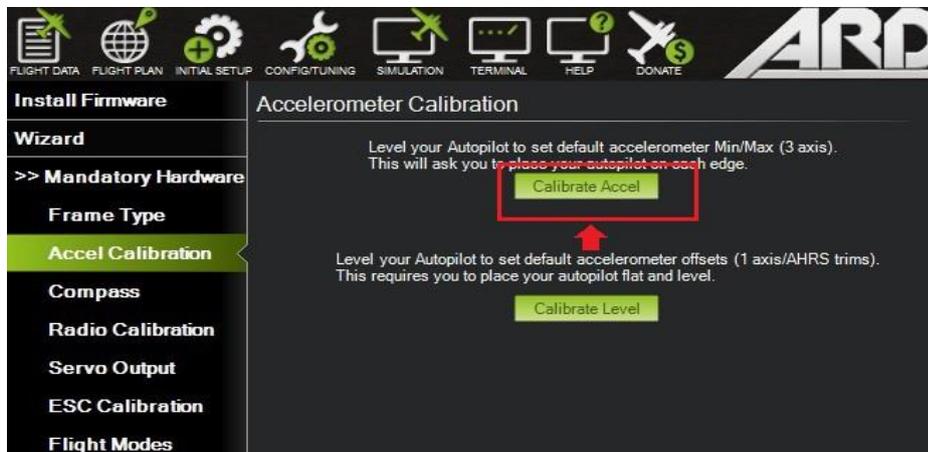


Figure III .21 : Étalonnage de l'accéléromètre.

Suivez les instructions affichées à l'écran et effectuez les mêmes actions pour calibrer l'accéléromètre. Une fois la calibration de l'accéléromètre terminée, vous pouvez procéder à la calibration de la boussole. L'APM 2.8 est équipé d'une boussole intégrée, ce qui élimine le besoin d'une boussole externe. Rendez-vous simplement sur l'étalonnage en direct et commencez à faire pivoter votre APM sur 360 degrés.

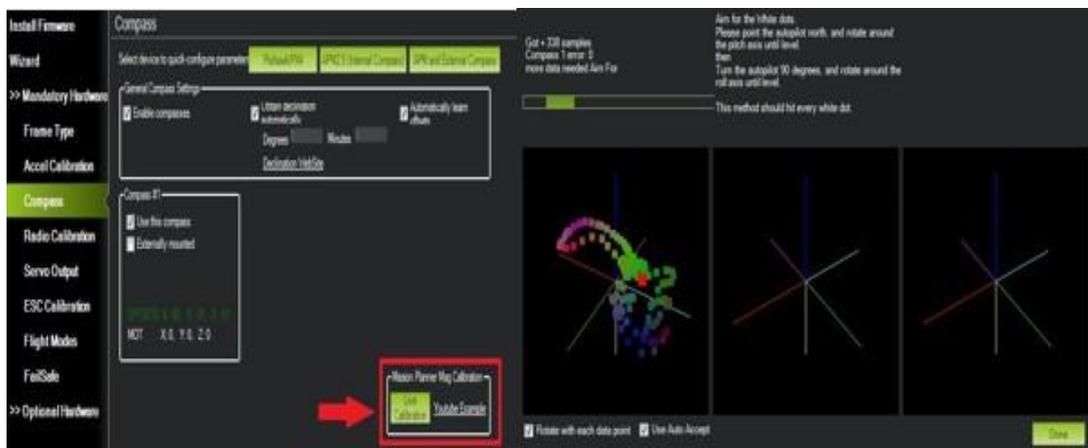


Figure III .22 : Étalonnage de la boussole.

Cliquez sur "Terminer" une fois que vous avez terminé. Vous avez également la possibilité de le visualiser graphiquement en accédant à l'onglet des données de vol situé en haut à droite. Déplacez le Module d'Alimentation en Puissance (APM) lorsqu'il est connecté à Mission Planner. Vous observerez la modification de la position du vol et des valeurs correspondantes également.



Figure III .23 : visualiser graphiquement des données de vol.

Veillez maintenant vous rendre à la section d'étalonnage de la radio dans la partie "Mandatory Hardware".

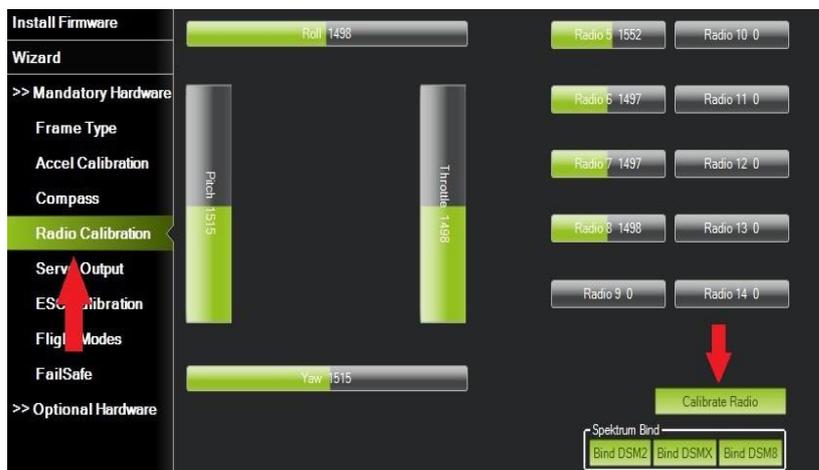


Figure III .24 : Étalonnage radio.

Vous observerez divers graphiques pour différents paramètres. Si vous modifiez la position d'un levier sur le joystick de l'émetteur, la barre du paramètre correspondant sera modifiée. Cliquez sur le bouton radio de calibration et ajustez tous les paramètres entre leurs valeurs extrêmes. Déplacez le joystick dans toutes les directions jusqu'aux extrémités et modifiez également la position des boutons au maximum. Vous remarquerez désormais que les lignes rouges extrêmes seront capturées par le Planificateur de mission pour les canaux correspondants. Maintenant que les extrêmes seront capturés par le logiciel, veuillez cliquer sur le bouton "cliquer lorsque terminé" pour sauvegarder les données.

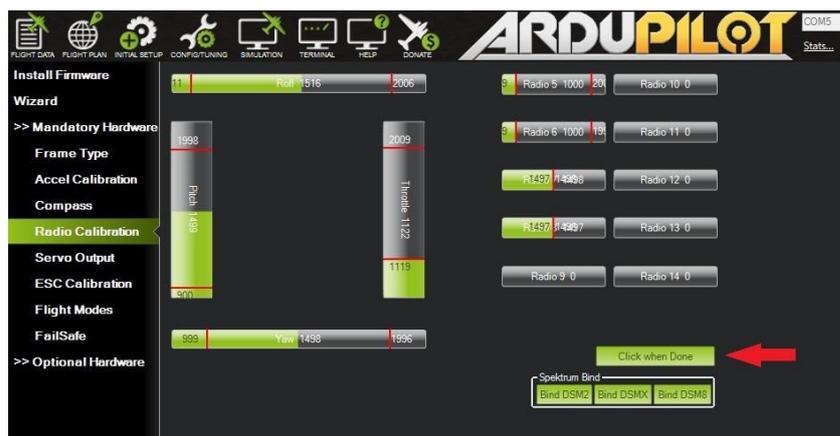


Figure III .25: Terminer l'étalonnage radio.

Modes de vol

Il est possible de choisir jusqu'à six modes de vol programmables sur l'émetteur du contrôleur radio (RC), en fonction du nombre de canaux qu'il supporte. La communication entre l'émetteur RC et le FCU s'effectue à travers le récepteur RC mentionné précédemment dans ce chapitre.



Figure III .26 : Mode de vol. [2]

Étape 3 – Étalonnage du contrôle électronique de la vitesse (ESC) et test du moteur

Par la suite, il est nécessaire de calibrer les ESC afin de déterminer les valeurs minimale et maximale du signal PWM pour le fonctionnement des moteurs. Lorsque nous appuyons sur le bouton de calibration ESC, il est nécessaire de redémarrer le drone ou le véhicule (FCU). Nous percevons un agréable signal de calibrage ESC lors du redémarrage. Nous devons procéder à un redémarrage afin de préparer le drone en vue du test du moteur. Par conséquent, nous procédons à deux redémarrages afin de préparer les ESC et le moteur pour un fonctionnement sans lubrifiant. Il est à noter que cette opération s'effectue sans l'utilisation d'hélices. [2]

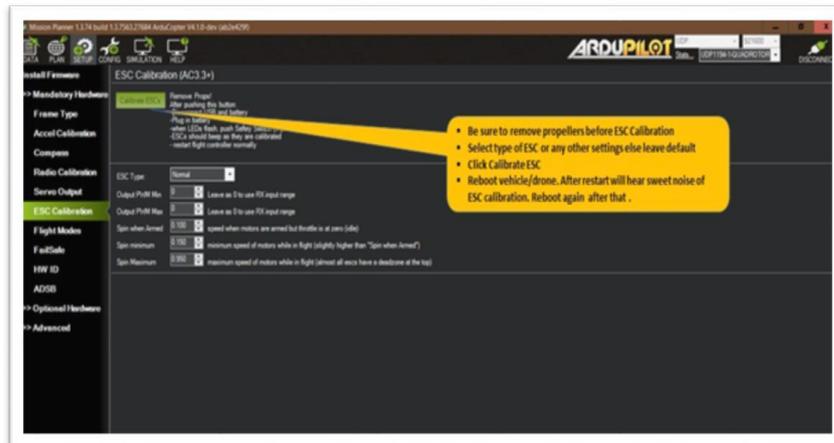


Figure III .27 : Étalonnage du ESC. [2]

Maintenant que l'étalonnage est terminé, votre APM est désormais programmé pour voler.

III .6. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons exposé en détail les éléments fondamentaux nécessaires à l'assemblage d'un quadricoptère. Nous avons traité des composants tels que le châssis, les moteurs, les hélices, le contrôleur de vol et les différents capteurs, en détaillant la fonction de chacun dans le maintien de la stabilité et l'optimisation des performances du drone.

Il est essentiel de bien saisir ces éléments pour pouvoir construire un drone performant et identifier d'éventuels dysfonctionnements. Ces connaissances préalables sont essentielles pour aborder la programmation du drone, afin de tirer pleinement parti de ses capacités matérielles.

Chapitre IV :

Surveillance et Extinction d'Incendies

Chapitre IV : Surveillance et Extinction d'Incendies

IV .1. Introduction

Les incendies constituent une menace significative pour la sécurité des individus, des propriétés et de l'écosystème. Chaque année, un grand nombre d'incendies entraînent des pertes humaines et matérielles importantes. Il est primordial de détecter les incendies de manière précoce et d'intervenir rapidement afin de limiter les dommages. Les systèmes conventionnels de détection d'incendie, qui reposent sur l'utilisation de détecteurs de fumée et de chaleur, présentent des limitations, notamment en ce qui concerne la vitesse de détection et la précision.

Ce chapitre présente le développement d'un système intelligent de détection et d'extinction d'incendie utilisant un Raspberry Pi 4 et une caméra Pi. L'objectif est de démontrer comment l'intégration de ces technologies permet de créer un système de surveillance et de réponse aux incendies plus efficace et automatisé. Le système détecte les premiers signes d'incendie via des algorithmes de traitement d'image, génère des alertes immédiates et active automatiquement un dispositif d'extinction.

IV .2. Matériel et Logiciel Utilisés

IV .2.1 Matériel Utilisés

IV .2.1.1 Raspberry Pi 4 [25]

Le Raspberry Pi 4, conçu par la fondation Raspberry Pi, est un ordinateur monocarte largement utilisé. Il a été introduit sur le marché en juin 2019 en tant que successeur du Raspberry Pi 3. Ci-dessous sont présentées quelques caractéristiques clés et spécifications techniques du Raspberry Pi 4

- Le Raspberry Pi 4 est équipé d'un processeur Broadcom BCM2711 quad-core Cortex-A72 (ARMv8) 64 bits, fonctionnant à une fréquence de 1,5 GHz.
- La mémoire vive est proposée dans diverses configurations, telles que 2 Go, 4 Go et 8 Go de LPDDR4.
- En ce qui concerne la connectivité, le Raspberry Pi 4 est équipé d'une connectivité Wi-Fi bi-bande intégrée (2,4 GHz et 5 GHz) ainsi que d'un port Ethernet Gigabit pour la connexion au réseau. Il est également équipé de la technologie Bluetooth 5.0.
- L'interface USB de l'appareil est équipée de deux ports USB 2.0 et de deux ports USB 3.0, permettant la connexion de divers périphériques tels que des claviers, des souris, des dispositifs de stockage externes, etc.
- La sortie vidéo du Raspberry Pi 4 permet la prise en charge d'une sortie vidéo double écran offrant des résolutions pouvant atteindre 4K. Il est équipé de deux ports micro HDMI permettant la connexion à des écrans.
- Le stockage principal est assuré par l'utilisation d'une carte microSD. Il est aussi envisageable de brancher des dispositifs de stockage externes par le biais de l'USB.
- Le Raspberry Pi 4 maintient le connecteur GPIO (General Purpose Input/Output) à 40 broches, qui facilite la communication avec divers composants électroniques et cartes d'extension.
- Le Raspberry Pi 4 est compatible avec divers systèmes d'exploitation tels que Raspbian (désormais connu sous le nom de Raspberry Pi OS), Ubuntu et différentes distributions

Linux. Il est également envisageable de faire fonctionner Windows 10 IoT Core sur le Raspberry Pi 4.



Figure IV .1: Raspberry pi 4.

IV .2.1.2 Camera pi [26]

La nouvelle version améliorée du module caméra Raspberry Pi v2 est la nouvelle carte caméra officielle publiée par la Fondation Raspberry Pi, conçue pour se connecter à tout Raspberry Pi ou Module de Calcul. Le module de caméra Raspberry Pi v2 est une caméra haute qualité de 8 mégapixels basée sur le capteur d'image Sony IMX219, ce qui vous permet de créer des vidéos HD et des photographies fixes. Il s'agit d'une carte d'extension conçue sur mesure pour le Raspberry Pi, équipée d'une lentille à mise au point fixe.

- Objectif à focale fixe intégrée.
- Résolution améliorée - Capteur de résolution native de 8 mégapixels capable d'images statiques de 3 280 x 2 464 pixels.
- Prend en charge les vidéos 1080p30, 720p60 et 640x480p90.
- Taille 25 mm x 23 mm x 9 mm.
- Poids un peu plus de 3g.
- Se connecte à la carte Raspberry Pi via un câble plat court (fourni).
- Camera v2 est pris en charge dans la dernière version de Raspbian, le système d'exploitation préféré de Raspberry Pi.
- Le capteur d'image Sony IMX219PQ est utilisé pour l'imagerie vidéo haute vitesse et la haute sensibilité.

Dans ce mini projet, nous utilisons une caméra Pi pour détecter les incendies en temps réel. La caméra, connectée à un Raspberry Pi 4, capte des images et des vidéos de l'environnement surveillé.

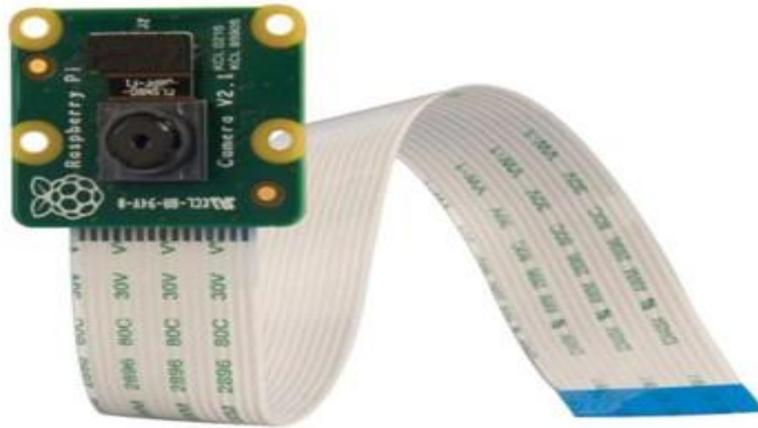


Figure IV .2 : camera pi [27].

IV .2.1.3 Le Relais

Le relais est un dispositif de commutation contrôlable utilisé pour séparer électriquement la section de commande de la section de puissance. Ce composant est largement employé pour établir une connexion entre les domaines de l'électronique et de l'électricité. Il permet de commuter un contacteur dans un circuit de puissance en réponse à un signal spécifique. Ce relais peut être activé avec une tension de 5V. [28]

- **Caractéristiques :**
- Capacité : 10A / 250Vac ou 30Vdc
- Tension de commande : 5V
- Résistance de la bobine : 400Ω

Dans ce mini projet, vous allez utiliser un relais pour contrôler une pompe à eau. Lorsqu'un incendie est détecté par la caméra, le relais activera la pompe à eau pour éteindre le feu.

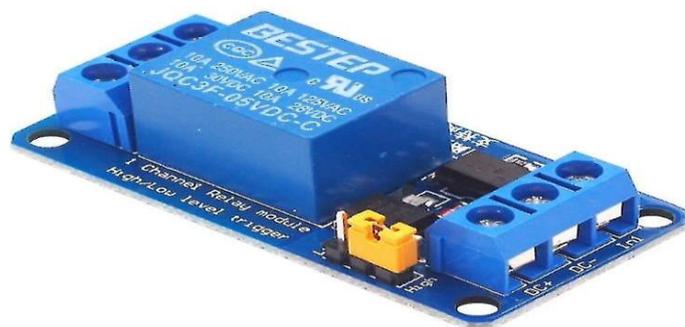


Figure IV .3 : Relais. [29]

IV .2.1.4 Pompe à eau

Dans cette situation, l'importance de la pompe à eau est primordiale, car elle représente l'élément essentiel du processus d'extinction de l'incendie identifié. La pompe à eau joue un rôle essentiel dans le système, car elle doit réagir rapidement en cas d'incendie en fournissant efficacement de l'eau à l'endroit requis. Sa capacité à transporter promptement l'eau de la source vers le point d'incendie facilite le déclenchement du processus d'extinction de manière efficace et rapide, deux éléments fondamentaux pour endiguer et contrôler les flammes avant qu'elles ne se propagent davantage. En résumé, la pompe à eau constitue l'élément essentiel de la stratégie de lutte contre l'incendie, fournissant un moyen tangible et efficace de contrer cette menace potentiellement destructrice.



Figure IV .4 : Pompe à eau. [30]

IV .2.1.5 Réservoir

L'incorporation d'un réservoir destiné au stockage de l'eau dans ce système revêt une importance cruciale. Le réservoir joue un rôle crucial en tant que réserve stratégique, garantissant un approvisionnement ininterrompu en eau pour alimenter la pompe en cas de détection d'incendie. Le stockage préalable de cette réserve d'eau permet au système de réagir de manière prompte et efficace dès la détection d'un incendie, ce qui évite toute interruption dans le processus d'extinction. Par ailleurs, la capacité du réservoir à stocker une quantité adéquate d'eau prolonge la durée de service de la pompe, assurant ainsi une réponse prolongée et continue en cas d'incendie. En somme, l'emploi d'un réservoir pour le stockage de l'eau représente un élément crucial afin d'assurer l'efficacité et la fiabilité du dispositif d'extinction d'incendie.

IV .2.1.6 Le module GSM SIM900A [35]

Le module GSM SIM900A représente un dispositif de communication GSM conçu par la société SIMCom. Il permet à un dispositif de se connecter à un réseau mobile afin d'envoyer et de recevoir des messages SMS, de réaliser des appels vocaux et de partager des données via le GPRS. Ce

module est fréquemment employé dans les projets liés à l'Internet des objets (IoT), aux systèmes embarqués et aux applications de télécommunication.

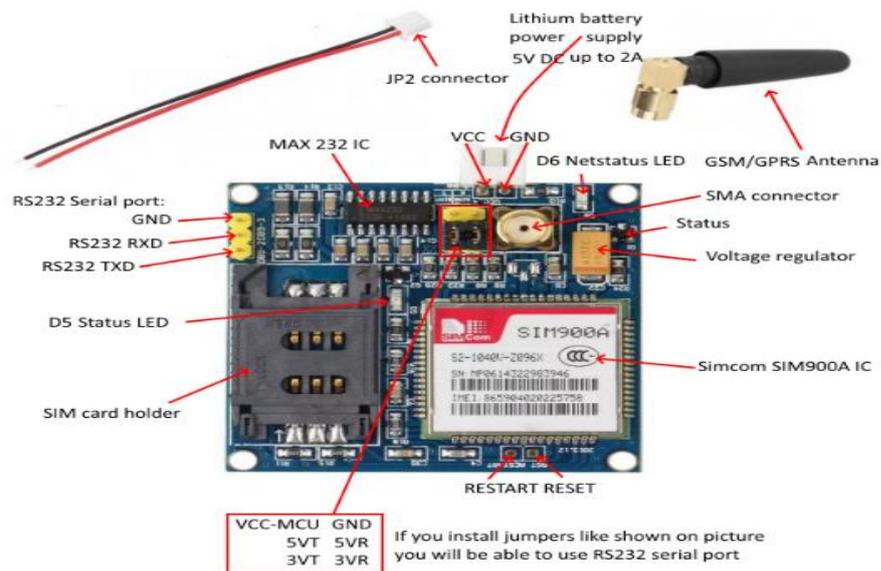


Figure IV .5: Module GSM SIM900A. [34]

Le tableau ci-dessous représente les spécifications complètes du module GSM SIM900A :

Spécifications	Description
Tension de fonctionnement	3.4V – 4.5V, typiquement alimenté en 5V
Courant de veille	1.5mA
Courant en communication	En fonctionnement (mode GSM) : 200mA Pic de transmission (mode GPRS) : 2A
Bande de fréquence	Dual-Band 900/ 1800 MHz
Interface de communication	UART, SPI, I2C
Protocoles de communication	GSM, GPRS
Connectivité GPRS	GPRS multi-slot classe 10 (par défaut), GPRS multi-slot classe 8 (option)
Taille	24 mm x 24 mm x 3 mm
Antenne	Peut nécessiter une antenne externe pour une réception optimale

IV .2.1.6 Arduino Uno [36]

L'Arduino Uno est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega328P (fiche technique). Il dispose de 14 broches d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), de 6 entrées analogiques, d'un résonateur céramique de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), d'une connexion USB, d'une prise d'alimentation, d'un en-tête ICSP et d'un bouton de réinitialisation. Il contient tous les éléments nécessaires pour soutenir le microcontrôleur ; il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou de l'alimenter avec un adaptateur AC-DC ou une batterie pour commencer. Vous pouvez manipuler votre Uno sans trop vous soucier de commettre une erreur, dans le pire des cas, vous pouvez remplacer la puce pour quelques dollars et recommencer à zéro.

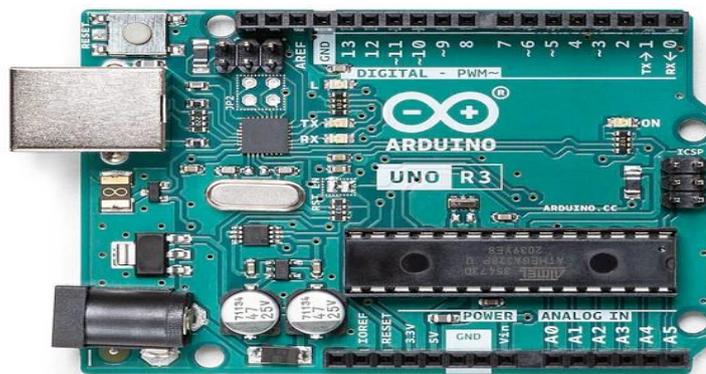


Figure IV .6 : Arduino Uno.

Spécifications techniques :

Microcontrôleur	ATmega328P
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (recommandée)	7-12V
Tension d'entrée (limite)	6-20V
Broches d'E/S numériques	14 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
Broches d'E/S numériques PWM	6
Broches d'entrée analogique	6
Courant CC par broche d'E/S	20 mA
Courant CC pour broche 3,3 V	50 mA

Mémoire flash	32 KB (ATmega328P) dont 0,5 KB utilisé par le bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Fréquence d'horloge	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longueur	68.6 mm
Largeur	53.4 mm
Poids	25 g

IV .2.2 logiciel utilisé

IV .2.2.1 Thonny IDE [31]

Thonny est un environnement de développement intégré Python conçu pour les débutants. Il est codé en Python et conçu pour le langage de programmation Python. Il offre une interface conviviale ainsi qu'une gamme de fonctionnalités telles que la mise en évidence de la syntaxe, l'auto-complétion du code et des outils de débogage pour assister les utilisateurs dans l'écriture et le test de code Python. Dans cet article, vous découvrirez les raisons pour lesquelles Thonny est un outil de qualité pour les programmeurs débutants en Python.

Thonny IDE a été développé par Aivar Annamaa, un chercheur à l'Université de Technologie de Tallinn en Estonie. Thonny a été conçu afin de proposer un environnement convivial et facile d'utilisation pour l'enseignement et l'apprentissage de la programmation Python, spécialement destiné aux étudiants et aux enseignants débutants en programmation. L'objectif de Thonny est de simplifier et de rendre plus accessible aux débutants l'écriture et l'exécution de code Python, sans être freiné par la complexité d'autres environnements de développement intégré (IDE).

Thonny IDE présente de nombreuses fonctionnalités qui en font un excellent choix pour les débutants. Certaines des caractéristiques principales comprennent :

- Interface simple et facile d'utilisation : Thonny dispose d'une interface conviviale qui est facile à naviguer et à comprendre, même pour les débutants en programmation.
- Thonny met en évidence la syntaxe du code Python, facilitant ainsi sa lecture et sa compréhension.
- L'achèvement de code : Thonny propose des suggestions pour compléter le code pendant que vous tapez, ce qui rend l'écriture du code plus rapide et plus facile.
- Thonny propose une gamme d'outils de débogage, tels qu'une exécution pas à pas du code et une inspection des variables, pour assister les utilisateurs dans la recherche et la correction des erreurs dans leur code.

- Support des plug-ins : L'EDI peut être étendu avec des plug-ins, ce qui facilite l'ajout de fonctionnalités supplémentaires.
- La compatibilité multiplateforme : Thonny est compatible avec Windows, MacOS et Linux, ce qui le rend accessible à un large éventail d'utilisateurs.

IV .3. OpenCV [2]

OpenCV (Open Source Computer Vision) représente une bibliothèque open source regroupant des algorithmes dédiés à la vision par ordinateur et à l'apprentissage automatique. Elle propose une variété étendue d'outils et de fonctionnalités permettant aux développeurs d'accomplir diverses tâches associées à L'analyse d'images et de vidéos, la détection et le suivi d'objets, la réalité augmentée, et d'autres domaines connexes.

OpenCV est rédigé en langage C++ et offre une compatibilité avec divers langages de programmation tels que Python, Java et MATLAB. Il est fréquemment employé dans les milieux universitaire et industriel afin de concevoir des applications de vision par ordinateur.

Voici quelques caractéristiques essentielles d'OpenCV :

- Le logiciel OpenCV offre la possibilité de charger, de modifier et d'enregistrer des images et des vidéos dans une variété de formats. Il propose des fonctionnalités permettant de redimensionner, recadrer, filtrer, fusionner et transformer des images. Il est également possible d'appliquer divers espaces colorimétriques et opérations d'histogramme.
- La détection et le suivi d'objets sont pris en charge par OpenCV, qui intègre des modèles pré-entraînés pour cette tâche, tels que les cascades de Haar, ainsi que des modèles basés sur l'apprentissage profond tels que le Single Shot MultiBox Detector (SSD) et le You Only Look Once (YOLO). Ces modèles peuvent être employés afin de repérer et de tracer des objets dans des images et des vidéos.
- La détection et l'extraction de caractéristiques : OpenCV propose des algorithmes permettant d'identifier et de récupérer des caractéristiques à partir d'images, comme des coins, des contours et des points d'intérêt. Ces caractéristiques peuvent être exploitées dans le cadre de diverses tâches, telles que l'appariement d'images, la reconnaissance d'objets et la composition d'images.
- Étalonnage de caméra : OpenCV propose des fonctionnalités permettant de réaliser l'étalonnage des caméras, qui vise à estimer les paramètres intrinsèques et extrinsèques d'un appareil photo. La calibration de la caméra est indispensable pour garantir une mesure précise et une reconstruction en trois dimensions à partir des images.
- L'intégration de l'apprentissage automatique implique l'utilisation conjointe d'OpenCV avec des bibliothèques d'apprentissage automatique telles que TensorFlow et PyTorch. Il propose des outils pour la formation et le déploiement de modèles d'apprentissage automatique destinés à des tâches telles que la classification d'images, la reconnaissance d'objets et la segmentation d'images.
- OpenCV propose un module appelé highgui qui offre la possibilité de concevoir des interfaces graphiques utilisateur pour les applications de vision par ordinateur. Il propose des fonctionnalités permettant d'afficher des images, de créer des trackbars, de gérer les événements de la souris, et bien d'autres encore.

- Le traitement parallèle est facilité par OpenCV grâce à la prise en charge du multi-threading et de l'accélération GPU, ce qui permet d'optimiser l'exécution des tâches demandant des calculs intensifs. Ceci permet d'exploiter les processeurs multi-cœurs et les unités de traitement graphique (GPU) afin d'obtenir des performances plus élevées.

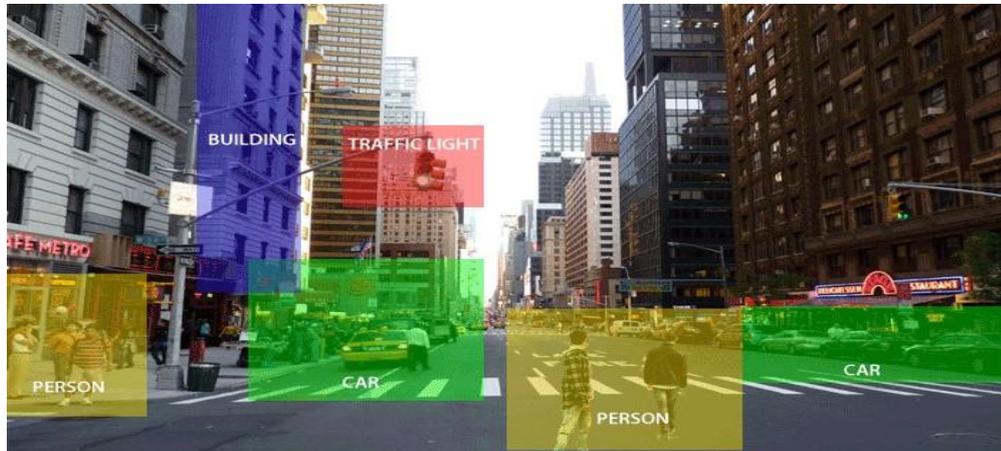


Figure IV 7 : détection par OpenCV. [32]

IV .4. Détection de feu [33]

La détection des incendies par le modèle HSV (Teinte-Saturation-Value) est une technique employée afin de repérer la présence de flammes dans une image ou une séquence vidéo en analysant les propriétés chromatiques de la flamme.

La détection de feu par le modèle de couleur HSV implique plusieurs étapes :

- Acquisition de l'Image : Capturez une image ou une séquence vidéo à partir d'une caméra.
- Conversion de l'Image en Espace de Couleur HSV : Convertissez l'image capturée de l'espace de couleur RGB à l'espace de couleur HSV. En OpenCV, cela peut être fait en utilisant la fonction `cv2.cvtColor()`.
- Définition des Seuils HSV pour le Feu : Définissez les plages de valeurs HSV typiques pour les flammes. Ces plages peuvent varier en fonction des conditions d'éclairage et des caractéristiques de la caméra, mais des valeurs typiques sont :
 - ✓ Teinte (H) : 0 à 50 (couleurs allant du rouge au jaune)
 - ✓ Saturation (S) : 100 à 255 (valeurs élevées indiquant des couleurs vives)
 - ✓ Valeur (V) : 100 à 255 (valeurs élevées indiquant des couleurs brillantes)
- Masquage : Créez un masque binaire où les pixels dans la plage définie sont définis à 1 (ou blanc) et les autres pixels sont définis à 0 (ou noir). En OpenCV, cela peut être fait avec la fonction `cv2.inRange()`.
- Traitement Postérieur : Appliquez des opérations morphologiques telles que l'érosion et la dilatation pour éliminer le bruit et combler les trous dans les régions détectées.
- Analyse des Contours : Détectez et analysez les contours des régions blanches dans le masque pour identifier les régions correspondant aux flammes. La fonction `cv2.findContours()` d'OpenCV peut être utilisée pour cela.
- Validation et Filtrage : On peut ajouter des critères supplémentaires pour vérifier que les zones détectées sont effectivement du feu et non pas de la lumière ou autre chose

similaire, comme l'analyse de la forme des contours ou la dynamique des mouvements dans une vidéo.

La détection de feu par Hue, Saturation, Value (HSV) est une méthode fréquemment employée pour repérer initialement les flammes dans les systèmes de surveillance ou de détection incendie.

Toutefois, il est à souligner que cette méthode peut présenter des limitations en fonction des conditions d'éclairage, des variations de couleur du feu et d'autres facteurs environnementaux. Des méthodes additionnelles, telles que le recours à des capteurs thermiques ou à des algorithmes sophistiqués de vision par ordinateur, pourraient s'avérer indispensables afin d'accroître la précision et la fiabilité de la détection des incendies dans des situations concrètes.

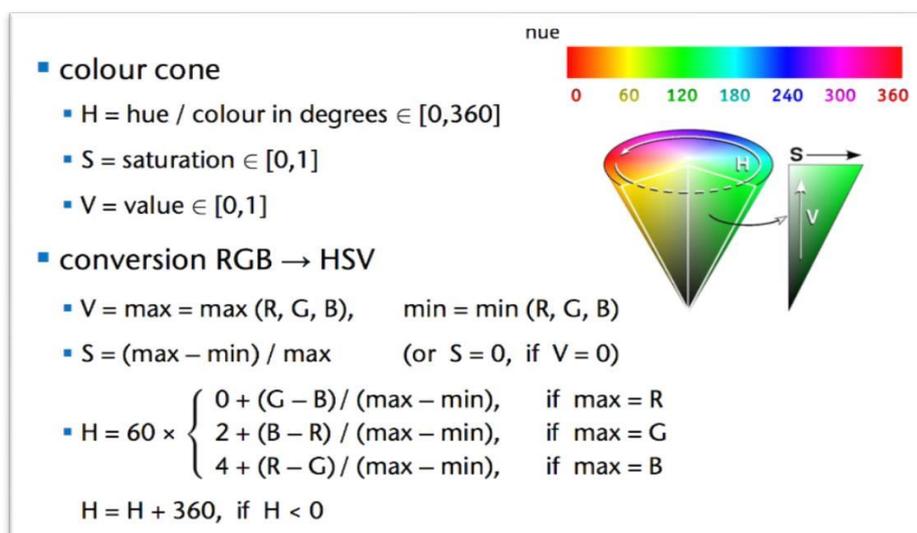


Figure IV .6 : mode HSV. [33]

IV .5. La télémétrie

La télémétrie correspond à l'enregistrement automatique et à la transmission de données provenant de sources distantes ou inaccessibles vers un système informatique situé dans un lieu différent en vue de leur surveillance et de leur analyse. Les données de télémétrie peuvent être transmises par radio, infrarouge, ultrasons, GSM, satellite ou câble, en fonction de l'application (la télémétrie n'est pas uniquement utilisée dans le développement de logiciels, mais également en météorologie, renseignement, médecine et autres domaines). [37]

De manière générale, la télémétrie fonctionne à travers des capteurs situés à la source distante qui mesurent des données physiques (telles que les précipitations, la pression ou la température) ou électriques (comme le courant ou la tension). Cela est converti en tensions électriques qui sont associées à des données de synchronisation. Ils constituent un flux de données qui est transmis sur un support sans fil, filaire ou une combinaison des deux. [37]

La transmission de vidéos par télémétrie dans les drones est une technologie essentielle qui permet une surveillance en temps réel et une collecte de données visuelles à distance. Les drones équipés de caméras haute résolution capturent des vidéos qui sont ensuite transmises en direct à une station de contrôle au sol via des systèmes de télémétrie avancés. Cette transmission repose souvent sur

des liaisons radio, des réseaux cellulaires ou des satellites, en fonction de la portée et des exigences de la mission. La télémétrie vidéo offre de nombreux avantages, notamment dans les domaines de la surveillance environnementale, de la sécurité, de l'agriculture de précision, et des opérations de recherche et de sauvetage. Elle permet aux opérateurs d'obtenir une vue d'ensemble de terrains inaccessibles ou dangereux, d'identifier des problèmes en temps réel, et de prendre des décisions éclairées basées sur des données visuelles précises. L'intégration de la transmission vidéo par télémétrie améliore également la capacité des drones à effectuer des missions autonomes et à réagir rapidement aux changements dans l'environnement opérationnel, augmentant ainsi l'efficacité et la sécurité des opérations. [38]



Figure IV .8 : Modèle FIM-2430.

Caractéristiques :

- Faible délai 50 ms pour le flux vidéo 1080P
- Conception compacte et légère : 146 g pour l'unité aérienne et l'unité au sol
- Prend en charge la qualité vidéo Full HD 1080P
- Haute sécurité avec cryptage AES128bits
- Modulation COFDM
- Supporte pixhawk 2 /cube/v2.4.8/4, APM 2.8
- Intégré avec port HDMI et LAN
- Fréquence, puissance RF et bande passante réglables
- Codage H.264+h.265 et MPEG2
- Offrant contrôle, télémétrie et charge utile, transmission vidéo bidirectionnelle dans 1 canal RF sur 30 km
- Longue distance de transmission et forte capacité de diffraction, temps réel et faible latence, connectivité à haut débit.

Spécification :

Fréquence	2,4 GHz (2,402-2,482 GHz)
-----------	---------------------------

Détection d'erreur	Super correction d'erreur LDPC FEC/Vidéo H.264/265
Puissance transmise RF	33 dB
Consommation d'énergie	Émission : 19 watts/réception : 8 watts
Bande passante	4/8 MHz
Antenne	1T : Antennes omnidirectionnelles 1R : Antennes omnidirectionnelles ou antenne panneau
Entrée/sortie vidéo	HDMI mini TX/RX ou FFC converti en HDMI-A TX/RX intégré
Mode de transmission	point à point
Le temps de démarrage	25s
Dimension	Émission/Rx : 74,6 × 72,9 x 22,5 mm
Poids	Émission/Rx 146g
Distance	25-35 km (Remarques : la distance réelle est liée à l'environnement)

IV .6. La partie Simulation

En utilise dans la simulation logiciel Fritzing

IV .6.1 Logiciel Fritzing [39]

Fritzing représente un logiciel à code source ouvert élaboré spécifiquement pour les individus nécessitant la conception de projets électroniques, en particulier dans le domaine du matériel libre, et qui font face à des contraintes d'accès au matériel requis. Il peut aussi servir à concrétiser vos créations, à capturer des exemples pour des tutoriels, entre autres usages. De surcroît, cet outil bénéficie du soutien d'une vaste communauté qui assure sa maintenance et se tient prête à vous assister en cas de difficultés. Il peut constituer un outil précieux dans le cadre des cours, tant pour les étudiants en électronique que pour les enseignants, ainsi que pour les individus désireux de partager et de consigner leurs prototypes, et même pour les experts du domaine.

Il est compatible avec plusieurs plateformes, notamment macOS, Linux et Windows. Cette initiative a été élaborée par l'Université des sciences appliquées de Potsdam et est diffusée sous la licence GPL 3.0 ou une version ultérieure, tandis que les images des composants utilisables sont sous licence Creative Commons CC BY-SA 3.0.

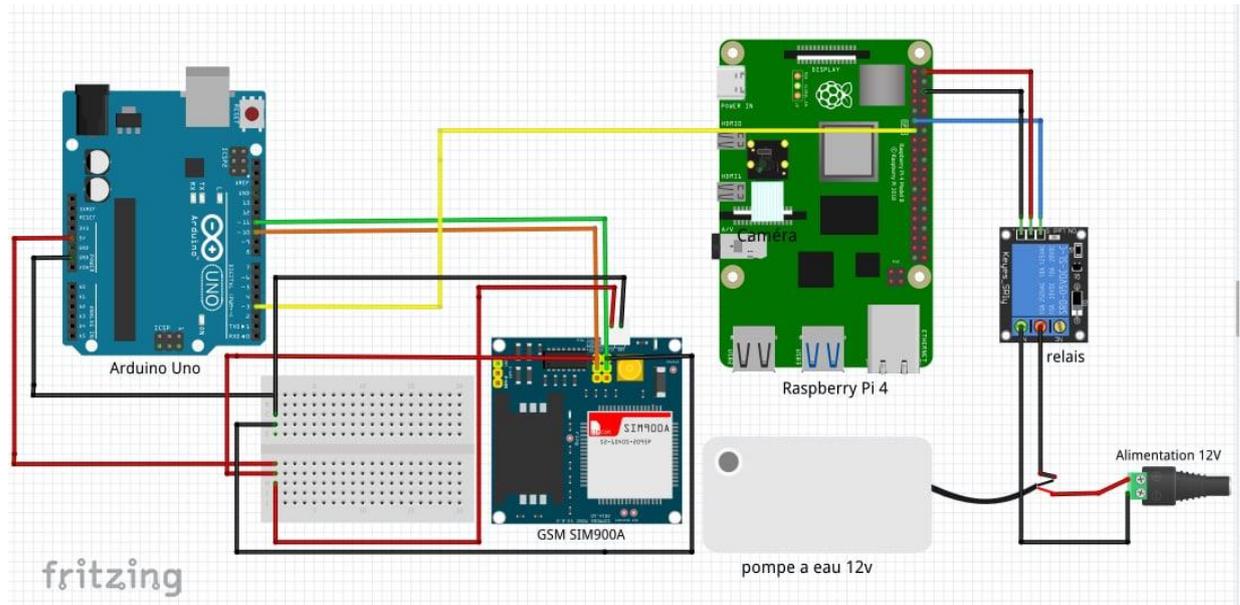


Figure IV .9 : Simulation de circuit.

VCC : fil rouge

GND : fil noir

Branchement du composant :

Tx de module GSM : pin 10 de l'arduino

Rx de module GSM : pin 11 de l'arduino

5v module GSM : 5v de l'arduino, GND module GSM : GND de l'arduino

5v module GSM : 5v de l'arduino, GND module GSM : GND de l'arduino

Utiliser deux sources d'alimentation dans le module GSM afin de garantir un bon fonctionnement.

Connectez la broche 3 de l'Arduino au GPIO 27 de la carte Raspberry Pi 4.

Connectez la broche IN du relais au GPIO 17 de la carte Raspberry Pi 4.

Connectez les broches VCC et GND du relais aux broches 5V et GND de la carte Raspberry Pi 4.

Connectez la broche GND du relais au pôle négatif de la pompe à eau, et la broche NO au pôle négatif de l'alimentation 12V.

Enfin, connectez le pôle positif de la pompe à eau au pôle positif de l'alimentation 12V.

IV .7. Conclusion

L'efficacité des technologies embarquées pour la sécurité incendie est démontrée par le système de surveillance et d'extinction des incendies basé sur le Raspberry Pi 4 et la caméra Pi. En se basant sur OpenCV et le modèle de couleur HSV, il est capable de détecter promptement les incendies et de réagir instantanément.

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné les éléments essentiels suivants : relais, pompe à eau, réservoir, module GSM SIM900A et Arduino Uno. Le développement du logiciel a été effectué en utilisant l'IDE Thonny et la simulation de circuits a été réalisée à l'aide de Fritzing.

Ce petit projet démontre la faisabilité d'un système automatisé de détection et de suppression des incendies à un coût abordable, offrant des perspectives d'amélioration grâce à l'intégration de capteurs et d'algorithmes d'apprentissage automatique. Cette initiative constitue un pas en avant vers des solutions de sécurité plus sophistiquées et autonomes.

Conclusion générale

En conclusion de ce projet, il apparaît que l'utilisation de technologies de pointe, telles que les drones, pourrait avoir un impact significatif dans la lutte contre les incendies de forêt et la préservation de l'environnement. Le système conçu et mis en œuvre a démontré une grande efficacité dans la détection précoce des incendies, permettant ainsi une intervention rapide et la réduction des dommages potentiels.

Nous avons exprimé le souhait que ce travail constitue initialement un complément à notre formation. De plus, il est souhaitable que ce projet soit multidisciplinaire pour faciliter la compréhension et la maîtrise des interactions entre notre domaine d'expertise et d'autres domaines techniques. Variées. Pour cette raison, les systèmes quadricoptères requièrent une expertise étendue dans divers domaines tels que la mécanique, l'aéronautique, l'informatique, l'automatique, l'électronique et les télécommunications.

Au cours de cette étude, divers aspects de la conception et de la mise en œuvre d'un système de protection contre les incendies de forêt en utilisant un drone quadricoptère ont été abordés. À partir de la sélection des composants techniques appropriés, du développement des logiciels nécessaires pour le contrôle et le traitement des données, jusqu'aux tests du système dans des environnements réels. Les résultats préliminaires ont confirmé l'efficacité du système dans la détection précise des incendies, ce qui contribue à améliorer la réactivité des équipes de lutte contre l'incendie et à réduire les pertes.

Comme Perspective Nous utilisons la télémétrie pour transmettre la vidéo filmée.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] BENHAMOU Oumelkheir, BOUDEBZA Badra : Réalisation d'un drone Quad-copter, mémoire de fin d'étude de Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Faculté des Sciences et de la Technologie, département de génie des électroniques, Soutenu le 14/07/2019
- [2] SELLAOUI Dhiya Eddine : Etude et réalisation d'un drone quadrirotor, Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme de Master Académique, Université 8 Mai 1945- Guelma, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département d'Electronique et Télécommunications
- [3] <https://www.studiosport.fr/guides/drones/qui-a-invente-le-premier-drone.html>
- [4] https://fr.wikipedia.org/wiki/Parrot_AR.Drone
- [5] <https://www.cnil.fr/fr/definition/drone>
- [6] https://filmora.wondershare.fr/drones/drone-applications-and-uses-in-future.html?_gl=1*1lce28w*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjwl4yyBhAgEiwADSEjeBOEF73w8z3-7Q_pziLv26vipKVoh5fgXdepHHEXg3GAvmH5UeWeXBoCfqMQAvD_BwE
- [7] <https://www.flightglobal.com/uk-considers-watchkeeper-for-projects-of-concern-list/100537.article>
- [8] <https://www.indiamart.com/proddetail/12-mp-4k-drone-camera-22761378462.html>
- [9] <https://www.ikhabarzaade.shop/drone-debutant-c-117511/bien-choisir-son-drone-quel-drone-choisir-p-5470903>
- [10] <https://www.numerama.com/tech/31715-drone-secouriste-nageur-noyade.html>
- [11] <https://dailygeekshow.com/drone-ambulance/>
- [12] <https://www.middleeasteye.net/fr/en-bref/la-chine-monopolise-le-marche-des-drones-dans-le-monde-arabe>
- [13] <https://entreprise.mma.fr/connexionpro/drones-professionnels.html>
- [14] <https://www.jsumo.com/f450-frame-kit-not-assembled>
- [15] <https://www.transmission-aquitaine.com/tout-savoir-sur-les-moteurs-brushless>
- [16] <https://altidrone.ch/2015/09/27/moteurs-esc-variateurs-helices-comment-choisir-le-bon-ensemble/2/>

- [17] <https://www.guixmodel.fr/modelisme/radiocommande/recepteur/r%C3%A9cepteur-r8ef-2,4ghz-radiolink-detail>
- [18] <https://robu.in/product-category/drone-parts/gps-module/>
- [19] <https://www.autelpilot.com/blogs/news/gps-drones-everything-you-need-to-know>
- [20] <https://thefpvproject.com/product/ublox-m8n-gps-module-with-compass-for-apm-ardupilot-pixhawk/>
- [21] https://www.researchgate.net/figure/Schema-simplifie-du-fonctionnement-dun-quadricoptere-II-sagit-dun-schema-idealise_fig24_328420521
- [22] https://www.researchgate.net/figure/Wiring-diagram-of-quadcopter-basic-components-based-on-Reference-45_fig2_331093994
- [23] <https://www.01net.com/telecharger/loisirs/science/mission-planner.html>
- [24] <https://hackaday.io/page/7188-calibrate-apm-28-using-mission-planner>
- [25] <https://www.gotronic.fr/art-carte-raspberry-pi-4-b-4-gb-30209.htm>
- [26] <https://uk.pi-supply.com/products/raspberry-pi-camera-board-v2-1-8mp-1080p>
- [27] <https://ie.rs-online.com/web/p/raspberry-pi-cameras/9132664>
- [28] <https://youpilab.com/components/product/relais-simple-de-5v>
- [29] <https://www.orbit-dz.com/product/carte-1relais/>
- [30] <https://midwestbusparts.com/product/washer-pump-motor-00090583/>
- [31] <https://pythonology.eu/thonny-great-python-ide-for-beginners/#:~:text=Thonny%20is%20a%20Python%20IDE,write%20and%20test%20Python%20code.>
- [32] <https://blog.knoldus.com/explore-opencv-why-do-we-need-to-know-about-it/>
- [33] <https://github.com/gunarakulangunaretnam/fire-detection-system-using-python-opencv?tab=readme-ov-file>
- [34] <https://quartzcomponents.com/products/sim900-gsm-module>
- [35] <https://www.utmel.com/components/sim900a-gsm-module-how-to-use-sim900a?id=2114>
- [36] <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- [37] <https://stackify.com/telemetry-tutorial/#:~:text=Telemetry%20is%20the%20automatic%20recording,location%20for%20monitoring%20and%20analysis.>

[38] <https://www.iwavecomms.com/fr/30km-drones-video-transmitter-for-hdmi-camera-1080p-video-and-telemetry-mavlink-data-product/>

[39] <https://www.hwlibre.com/fr/friture/>

Annexe 1

Procédure de fonctionnement de l'appareil photo :

Installer la caméra

- Éteindre le Raspberry Pi : Assurez-vous que le Raspberry Pi est éteint avant d'installer la caméra.
- Connecter la caméra : Ouvrez le connecteur de la caméra sur le Raspberry Pi, insérez le câble de la caméra de manière à ce que le côté métallique du câble soit orienté vers le connecteur HDMI. Fermez le connecteur après avoir correctement inséré le câble

Activer la caméra

- Allumer le Raspberry Pi : Après avoir connecté la caméra, allumez le Raspberry Pi.
- Accéder aux paramètres : Ouvrez une fenêtre terminale et entrez la commande suivante pour lancer l'outil de configuration du Raspberry Pi :

```
bash Copier le code  
  
sudo raspi-config
```

Activer la caméra : Dans l'outil de configuration, sélectionnez Interface Options, puis Camera, et activez-la. Après l'activation, appuyez sur Finish et redémarrez le Raspberry Pi.

Tester la caméra

- Ouvrir le terminal : Après le redémarrage, ouvrez de nouveau une fenêtre terminale.
- Prendre une photo : Pour tester la caméra et prendre une photo, utilisez la commande suivante

```
bash Copier le code  
  
raspistill -o image.jpg
```

Cela sauvegardera la photo sous le nom image.jpg dans le répertoire actuel.

Enregistrer une vidéo : Pour tester l'enregistrement vidéo, utilisez la commande suivante

```
bash Copier le code  
  
raspivid -o video.h264 -t 10000
```

Cette commande enregistrera une vidéo de 10 secondes et la sauvegardera sous le nom video.h264.