

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

Etude et réalisation d'un drone quadrirotor

Présenté par : SELLAOUI Dhiya Eddine

Sous la direction de : Dr. Doghmane Hakim

2022/2023

Remerciements :

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la force et le courage pour réaliser ce travail. Avant tout, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu dans la réalisation de cette étude. Au premier lieu : un immense MERCI à ma famille et en particulier à mes parents sur tout ma mère qui a toujours su me remonter le moral, me pousser toujours vers l'avant, celle qui a supporté mon stress et mon humeur pas toujours agréable. Puis à mon père de m'avoir aidé et encouragé au long de ma carrière universitaire. Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Doghmane Hakim mon encadreur, pour son enseignement, son soutien, ses conseils, et sa disponibilité tout au long de l'année. Mes remerciements vont également aux membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer cet humble travail. Merci à tous mes amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

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 gratitude envers mes professeurs et encadrants académiques, dont l'expertise et les conseils précieux 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 profonde reconnaissance et gratitude.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : généralité sur les drones	3
1. Introduction.....	3
2. Principes de mécanique de vol.....	3
3. Définition d'un drone.....	4
4. Les types des drones	4
4.1. Drones de loisirs	4
4.2. Drones professionnels.....	5
4.3. Drones militaires.....	5
4.4. Drones de livraison	6
4.5. Drones sous-marins	6
4.6. Drone d'agriculture.....	7
5. La technologie des drones.....	9
5.1. Drone birotors	9
5.2. Drone Trirotors	10
5.3. Drone quadrirotors.....	11
5.4. Drone hexrotors	11
6. Conclusion	12
Chapitre II : Aérodynamique d'un drone quad-copter et modélisation d'un moteur à courant continu.....	13
1. Introduction.....	13
2. Description générale du quad-copter	13
3. Mode de vol	14
3.1. Mode manuel	14
3.2. Mode stabilisé.....	14
3.3. Mode GPS.....	15
3.4. Mode RTH (Retour à la maison)	15
3.5. Mode Follow-me	15
4. Mouvement du quad-copter	15
4.1. Vol stationnaire.....	15
4.2. Mouvement vers l'avant.....	15
4.3. Mouvement vers l'arrière	15
4.4. Mouvement latéral	15

4.5.	Mouvement vertical	15
4.6.	Rotation	16
5.	Les efforts physiques agissants sur le quad-copter	16
5.1.	Forces agissant sur le drone	16
5.2.	Effet gyroscopique.....	19
6.	La modélisation d'un moteur à courant continu	20
6.1.	Schéma équivalent	20
6.2.	Les équations électriques et mécaniques	20
6.3.	Fonction de transfert du moteur.....	21
7.	Le PID (proportionnel-intégral-dérivé).....	23
8.	Conclusion	25
Chapitre III :		
	Réalisation du prototype.....	26
1.	Introduction :.....	26
2.	Cahier des charges	26
3.	Planification du mini projet	26
4.	Liste des composant	27
4.1.	Châssis :.....	27
4.2.	Moteurs brushless :.....	28
4.3.	Contrôleur de vitesse électronique (ESC) :	29
4.4.	Hélices :	30
4.5.	Batterie :	31
4.6.	Radio-commande :.....	32
4.7.	ARDUCOPTER APM 2.8:.....	35
4.8.	Gyroscope et un Accéléromètre :	36
4.9.	Schéma Fonctionnel :	38
4.10.	Schéma structurel :.....	40
9.	Conclusion :	41
Chapitre IV : Programmation du drone.....		42
1.	Introduction :.....	42
2.	Programation du Arducopter avec Mission Planner :	42
3.	OpenCV :	49
4.	La détection de feu :.....	51
5.	Des organigrammes sont utilisées pour la réalisation de ce mini projet :.....	53
6.	Conclusion :	61

Conclusion générale 62

Bibliographie

Les annexes

Table des figures

Figure 1: DJI Mavic Air 2	4
Figure 2: DJI Matrice 300 RTK	5
Figure 3: MQ-9 Reaper	6
Figure 4: le Wingcopter 198.....	6
Figure 5: le OpenROV	7
Figure 6:Dji T20.....	8
Figure 7: Dji P4 multispectrale camera.....	8
Figure 8: drone birotors.....	9
Figure 9: drone trirotors	10
Figure 10: drone quadrirotors.....	11
Figure 11: Le drone hexarotors	11
Figure 12: un drone quad-copter	14
Figure 13: Mouvement du quad-copter.....	16
Figure 14: Aile d'une Hélice.....	17
Figure 15: Illustration des forces agissantes sur un quad-copter stagnant dans les airs.....	18
Figure 16: un gyroscope.....	19
Figure 17: Schéma équivalent d'un moteur à courant continu.....	20
Figure 18: Schéma bloc du Modèle de moteur électrique en vitesse	22
Figure 19: Exemple de modélisation sous Matlab de la réponse de vitesse	23
Figure 20: Schéma d'un moteur à courant continu	23
Figure 21: Structure du PID d'un drone quadricoptère.....	25
Figure 22: F450 Frame.....	27
Figure 23: 980KV EMAX XA2212 Moteur Brushless.....	29
Figure 24: Electronique Speed Controller 30A.....	30
Figure 25: hélices pour drone.....	31
Figure 26: Batterie Lipo 3S 3300mah	32
Figure 27: Radiolink T8FB	33
Figure 28: (receiver R8EF)	34
Figure 29:algorithme de vol d'un drone quadricoptère.....	34
Figure 30: Arducopter APM 2.8	35
Figure 31:le rôle de contrôleur de vol	36
Figure 32:Raspberry Pi 4.....	38
Figure 33: Schéma Fonctionnel.....	39
Figure 34: schéma simplifié	39
Figure 35: montage d'un arducopter drone	40
Figure 36: montage de variateur de vitesse avec les moteurs	40
Figure 37:contrôleur de vol pixhawk	43
Figure 38: le port COM de Arducopter	43
Figure 39: Téléchargement du system pour quadricopter	44
Figure 40:Installation du system quadricopter	44
Figure 41:Configuration du châssis.....	45
Figure 42:Configuration de radio commande	46
Figure 43:Configuration de l'accéléromètre	46
Figure 44: Étalonnage de la boussole et du magnétomètre	47
Figure 45:Mode de vol	48

Figure 46: ESC calibration	49
Figure 47 : coco bibliothèque.....	51
Figure 48:mode HSV	52
Figure 49: un exemple d'organigramme pour commander un drone quadcopter équipé d'un Ardupilot et d'un Raspberry Pi pour l'acquisition vidéo et la commande d'une pompe à eau pour détecter et éteindre des feux.....	55
Figure 50: un exemple d'organigramme complet pour commander un drone quadcopter avec l'utilisation du correcteur PID avec le gyroscope.....	58
Figure 51:Object détections	59
Figure 52:faciale détection	60

Résumé

Un drone quadricoptère est un type de drone aérien équipé de quatre rotors, ou hélices, qui lui permettent de voler et de se maintenir en l'air. Il est souvent utilisé à des fins récréatives, mais il trouve également de nombreuses applications dans des domaines tels que la photographie aérienne, la surveillance, la cartographie et la livraison.

Grâce à ses quatre rotors, le drone quadricoptère peut effectuer des manœuvres aériennes précises et se déplacer dans différentes directions. Il est généralement contrôlé à distance par un opérateur à l'aide d'une radiocommande ou d'un smartphone, bien que certains modèles puissent également être programmés pour voler de manière autonome en utilisant des capteurs et des logiciels embarqués.

Les drones quadricoptères sont équipés de caméras et de capteurs qui leur permettent de capturer des images et des vidéos aériennes de haute qualité. Cela en fait un outil précieux pour la photographie et la vidéographie aérienne, offrant des perspectives uniques et des prises de vue créatives.

A quadcopter drone is a type of aerial drone equipped with four rotors, or propellers, which enable it to fly and hover in the air. It is often used for recreational purposes but also finds numerous applications in fields such as aerial photography, surveillance, mapping, and delivery.

Thanks to its four rotors, the quadcopter drone can perform precise aerial maneuvers and move in different directions. It is typically remotely controlled by an operator using a remote controller or a smartphone, although some models can also be programmed to fly autonomously using onboard sensors and software.

Quadcopter drones are equipped with cameras and sensors that allow them to capture high-quality aerial images and videos. This makes them a valuable tool for aerial photography and videography, offering unique perspectives and creative shots.

الطائرة بدون طيار رباعية المروحة هي نوع من الطائرات بدون طيار الجوية مجهزة بأربعة مروحيات أو دوارات تسمح لها بالطيران والتحكم في الجو. وغالبًا ما يتم استخدامها لأغراض ترفيهية، ولكنها تجد أيضًا تطبيقات عديدة في مجالات مثل التصوير الجوي والمراقبة ورسم الخرائط والتوصيل.

بفضل أربعة مروحياتها، يمكن لطائرة الدرون رباعية المروحة تنفيذ مناورات جوية دقيقة والتحرك في اتجاهات مختلفة. وعادةً ما يتم التحكم فيها عن بُعد بواسطة مشغل باستخدام جهاز تحكم عن بُعد أو هاتف ذكي، على الرغم من أن بعض النماذج يمكن أيضًا برمجتها للطيران بشكل مستقل باستخدام الحساسات والبرمجيات المدمجة.

تتمتع طائرات الدرون رباعية المروحة بكاميرات وحساسات تتيح لها التقاط صور وفيديوهات جوية عالية الجودة. وهذا يجعلها أداة قيمة للتصوير الجوي والتصوير بالفيديو، مما يوفر منظورًا فريدًا ولقطات إبداعية.

Introduction générale

Introduction générale

Au cours de ces dernières décennies, l'intérêt porté par la communauté scientifique à la thématique des véhicules aériens autonomes (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) n'a cessé de s'accroître. Ces engins volants, aussi appelés drone.

L'industrie des drones est en pleine croissance et offre de nombreuses opportunités pour les applications civiles et industrielles. Le développement de drones à faible coût et facilement personnalisables est donc de plus en plus recherché. Le marché du drone civil est en pleine expansion. Le potentiel de ces systèmes aériens sans pilote à bord a séduit plusieurs secteurs de l'industrie. En effet elle fait intervenir des domaines très variés tels que l'aérodynamique, le traitement du signal et de l'image, la commande automatique, la mécanique, les matériaux composites, l'informatique temps réel

Parmi ces drones, le quad-copter se détache comme étant l'un des appareils les plus prometteurs de par la diversité des applications pour lesquels il peut être utilisé. Mission de surveillance et d'observation, prises de vue aériennes, transport de marchandise sont des filières à présents largement développées par les constructeurs.

En fait, la conception d'un UAV nécessite et fait appel aux connaissances de plusieurs disciplines, notamment : l'électronique (surtout les systèmes embarqués), l'automatique, l'informatique, la mécanique, l'aéronautique, la robotique et les télécommunications. Ce présent mémoire, objet d'un projet de fin d'études, met d'amont en aval, en exergue l'étude et la réalisation d'un système de commande embarqué pour le contrôle d'un UAV. Le modèle d'UAV choisi, est un quadrirotor ou quadricoptère (c'est-à-dire quatre hélices et quatre moteurs). Les drones quadrirotors sont parmi les plus complexes des objets volants, à cause de non linéarité de leur dynamique de vol, et le fort couplage de leurs variables. L'objectif de ce travail est donc d'une part de concevoir un drone aérien de type quadrirotor, ensuite d'autre part, réaliser un système de commande embarqué en vue de pouvoir contrôler (piloter) cet UAV conçu. le travail réalisé dans ce mémoire vise à répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les caractéristiques électroniques, électriques, mécaniques, automatiques, aérodynamiques voire robotiques d'un UAV de type quadricoptère ?
- Comment concevoir un système de contrôle embarqué dédié au contrôle d'un UAV ? Il s'agira essentiellement de garantir la stabilité de cet engin volant même en présence de phénomène imprévisible telle qu'une rafale de vent ou bien encore la présence d'un obstacle ...etc.

Introduction générale

- Pourvoir ajouter d'autres circuits électroniques permettant par exemple de capter et de transmettre des images en temps réel.

Chapitre I :

généralité sur les drones

1. Introduction

Les drones sont devenus de plus en plus populaires ces dernières années, en partie grâce à l'amélioration de la technologie, qui a permis de rendre les drones plus petits, plus légers et plus abordables. Cela a conduit à une augmentation de leur utilisation dans des applications commerciales, gouvernementales et récréatives. Cependant, l'utilisation des drones soulève également des questions de sécurité, de confidentialité et de réglementation, notamment en ce qui concerne leur utilisation à proximité des aéroports et des zones résidentielles.

2. Principes de mécanique de vol

Les principes de mécanique de vol expliquent les forces et les mouvements qui permettent à un avion, y compris un drone, de voler. Voici les principes fondamentaux de la mécanique de vol :

La portance (lift) : La portance est la force aérodynamique qui s'oppose à la gravité et soulève l'aéronef dans les airs. Elle est générée par la différence de pression entre la surface supérieure et inférieure des ailes (ou des hélices pour les drones multirotors). La portance dépend de la forme des ailes, de leur surface, de l'angle d'attaque et de la vitesse de l'air qui les traverse.

La traînée (drag) : La traînée est la force aérodynamique qui s'oppose au mouvement de l'aéronef dans l'air. Elle est causée par la résistance de l'air sur la surface de l'aéronef. La réduction de la traînée est importante pour augmenter l'efficacité et la vitesse de l'aéronef.

La propulsion : La propulsion est la force qui propulse l'aéronef en avant. Dans le cas des drones multirotors, la propulsion est générée par les moteurs et les hélices qui créent une poussée vers le haut, en fonction des régimes moteurs des hélices.

L'équilibre : Pour voler de manière stable, un aéronef doit être équilibré autour de ses axes principaux. Les axes sont l'axe longitudinal (roulis), l'axe latéral (tangage) et l'axe vertical (lacet). Les actions sur les commandes de pilotage permettent de contrôler l'équilibre de l'aéronef.

Le contrôle : Le contrôle de l'aéronef est assuré par les surfaces de contrôle, telles que les ailerons, les gouvernes de profondeur et les gouvernes de direction. Ces surfaces modifient la répartition de la portance et de la traînée pour permettre des manœuvres et des changements de direction.

Ces principes de base de la mécanique de vol s'appliquent à la fois aux avions traditionnels et aux drones. Cependant, il convient de noter que les drones multicoptères, tels que les

quadricoptères, ont des caractéristiques de vol spécifiques en raison de leur configuration à plusieurs hélices et de leur contrôle de vol assisté par des capteurs et des systèmes électroniques.

3. Définition d'un drone

Un drone, également connu sous le nom de véhicule aérien sans pilote (UAV, Unmanned Aerial Vehicle) ou de système de drone sans pilote (UAS, Unmanned Aircraft System), est un engin volant qui peut être piloté à distance ou de manière autonome. Les drones sont équipés de capteurs, de caméras, de systèmes de communication et parfois d'autres équipements spécialisés, en fonction de leur utilisation spécifique.

4. Les types des drones ¹

Il existe de nombreux types de drones, chacun étant conçu pour un usage spécifique. Voici une liste de quelques-uns des types de drones les plus courants :

4.1. Drones de loisirs

Les drones de loisirs sont des drones destinés à un usage récréatif et personnel. Ils sont généralement plus petits et plus légers que les drones utilisés à des fins professionnelles ou militaires. Ces drones sont souvent pilotés par des amateurs et des passionnés, et ils offrent une expérience de vol ludique et divertissante.



Figure 1: DJI Mavic Air 2

¹ (Site web : <https://www.dji.com/>)

4.2.Drones professionnels

Les drones professionnels sont conçus pour des tâches spécifiques telles que l'arpentage et la cartographie, les inspections de sites industriels, l'agriculture de précision et la surveillance. Ils sont généralement équipés de caméras de haute résolution, de capteurs et de logiciels spécialisés pour répondre aux besoins des professionnels. Des exemples de drones professionnels incluent le DJI Matrice 300 RTK, le senseFly eBee X et le Parrot Bebop Pro Thermal.



Figure 2: DJI Matrice 300 RTK

4.3.Drones militaires

Capables de mener des missions de surveillance, de reconnaissance et de frappe, les drones militaires sont des outils multifonctionnels remarquables pour les forces armées. Un certain nombre de drones militaires sont équipés de fonctionnalités de haute technologie, notamment de capteurs et de caméras avancés, ainsi que d'armes puissantes telles que des missiles ou des bombes. Les modèles populaires de ces drones incluent le MQ-9 Reaper, le RQ-4 Global Hawk et le Predator B.



Figure 3: MQ-9 Reaper

4.4.Drones de livraison

Le transport des marchandises légères sur de courtes distances est une tâche parfaitement adaptée aux drones de livraison. Ces petits appareils astucieux sont généralement utilisés pour livrer des articles tels que des produits alimentaires et des colis. Deux exemples de drones de livraison incluent le DJI Mavic 2 Enterprise Dual et le Wingcopter 198.



Figure 4: le Wingcopter 198

4.5.Drones sous-marins

Les drones sous-marins peuvent explorer et cartographier les vastes fonds marins. Le BlueROV2 et l'OpenROV Trident sont deux modèles populaires utilisés pour capturer des données et des images sous-marines.

Chapitre I

Généralités sur les drones

Les besoins des utilisateurs sont satisfaits par un éventail de types de drones, tous avec leurs propres fonctionnalités et caractéristiques uniques.



Figure 5: le OpenROV

4.6. Drone d'agriculture

Un drone d'agriculture, également connu sous le nom de drone agricole ou drone de surveillance agricole, est un type de drone utilisé spécifiquement dans le domaine de l'agriculture. Ces drones sont conçus pour aider les agriculteurs à surveiller et à gérer leurs cultures de manière plus efficace et précise.

Les drones d'agriculture sont équipés de capteurs et de caméras spécialisés qui leur permettent de collecter des données et des images à haute résolution sur les cultures. Ces données peuvent être utilisées pour évaluer la santé des plantes, détecter les maladies, les infestations de ravageurs, les stress hydriques ou nutritionnels, ainsi que pour cartographier la croissance des cultures et évaluer la qualité des sols.

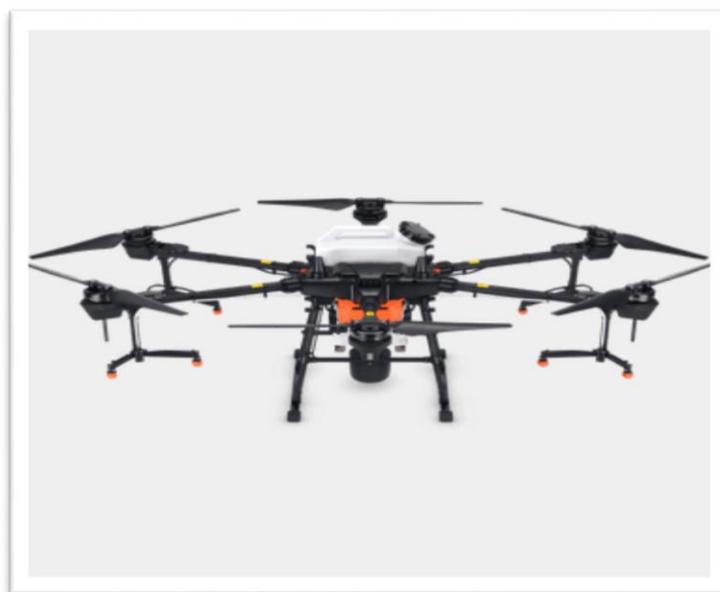


Figure 6: Dji T20



Figure 7: Dji P4 multispectrale camera

5. La technologie des drones

5.1. Drone birotors



Figure 8: drone birotors

Un drone birotor est un giravion qui vole à l'aide de deux rotors. Contrairement aux quadricoptères, les birotors n'ont que deux rotors. Ces rotors sont placés face à face et sont généralement fixés à un châssis en forme de H.

Un drone à double rotor peut être contrôlé comme un drone à quatre rotors, en utilisant des moteurs et des hélices pour régler l'altitude et la direction. Cependant, les drones à double rotor sont généralement plus maniables et plus rapides que les quadricoptères, ce qui les rend populaires pour les applications de course de drones. Les drones à double rotor ont également l'avantage d'être plus stables que les drones à simple rotor (hélicoptères) car il y a deux rotors fournissant des forces égales et opposées. Cela maintient le drone en équilibre même dans des conditions venteuses ou turbulentes.

5.2.Drone Trirotors

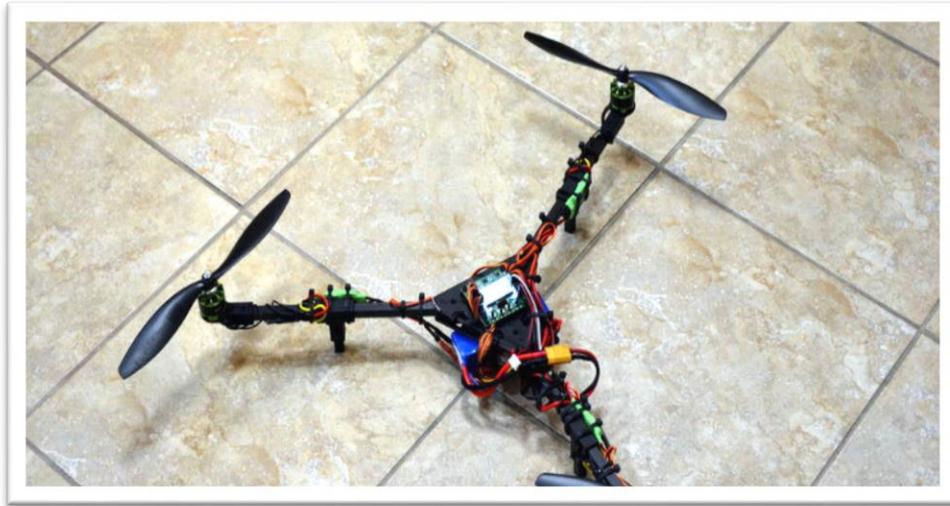


Figure 9: drone trirotors

Un drone trirotor est un drone qui vole à l'aide de trois rotors. Il est couramment utilisé dans les applications de loisir, de surveillance et de photographie aérienne.

Les UAV à trois rotors peuvent avoir des conceptions différentes, mais il y a généralement un rotor à l'avant et deux rotors à l'arrière. Le rotor peut être monté sur un bras s'étendant depuis le châssis central. Certains modèles peuvent également avoir des rotors pliables pour faciliter le transport et le stockage.

Les drones trirotor sont généralement plus stables que les drones quadrotor (quatre rotors) car ils ont un centre de gravité plus bas et des surfaces de contrôle plus grandes. Cependant, ils sont généralement moins maniables et ont des capacités de charge utile inférieures à celles des drones quadrotor.

5.3.Drone quadrirotors



Figure 10: drone quadrirotors

Un drone quadcopter (ou quadrirotor) est un drone qui utilise quatre rotors pour voler. Ces quatre rotors sont généralement disposés symétriquement sur un châssis en forme de croix, ce qui donne au drone sa forme unique.

Les drones quadrotor peuvent être contrôlés à l'aide de moteurs et d'hélices, qui ajustent la vitesse et la direction de chaque rotor pour régler l'altitude, la direction et l'orientation du drone. Ces drones sont généralement équipés de gyroscopes, d'accéléromètres et de capteurs de pression pour la stabilité du vol.

Les drones quadrotor sont très populaires pour leur grande maniabilité et leur facilité de contrôle, ce qui les rend adaptés à une variété d'applications.

5.4.Drone hexrotors



Figure 11: Le drone hexarotors

Chapitre I

Généralités sur les drones

Un drone hexacoptère est un drone qui vole à l'aide de six rotors. Il est couramment utilisé dans les applications de surveillance, de recherche et de sauvetage et dans l'industrie cinématographique.

Les drones Hexrotor sont de conception similaire aux drones quadricoptères (quatre rotors), mais avec deux rotors supplémentaires. Les six rotors sont généralement disposés en deux groupes de trois, chaque groupe tournant dans des directions opposées pour assurer une stabilité de vol optimale.

Les drones hexacoptères présentent plusieurs avantages par rapport aux drones quadrotor.

Premièrement, les six rotors offrent une meilleure stabilité et une plus grande capacité de charge utile, qui peuvent être utilisées dans des applications telles que la surveillance et la recherche et le sauvetage. De plus, les hexacoptères sont généralement plus faciles à contrôler par vent fort ou dans des conditions turbulentes.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les drones et leurs différents types et nous avons également, décrit leur ainsi que leurs avantages et leurs applications.

Chapitre II :
Aérodynamique d'un drone
quad-copter et modélisation
d'un moteur à courant
continu

1. Introduction

La conception aérodynamique d'un drone quadrirotor est essentielle pour assurer des performances de vol stable et précise. Les conceptions doivent tenir compte des forces aérodynamiques telles que la portance, la traînée et la stabilité pour assurer un vol contrôlé et efficace.

La portance est la force qui maintient un drone dans l'air. Il est produit par les pales de l'hélice, qui créent une différence de pression entre le haut et le bas de l'hélice. Plus la vitesse de l'hélice est élevée, plus la portance est grande.

La traînée est la force contre le mouvement du drone. Elle est créée par la résistance de l'air qui s'oppose à la vitesse de déplacement du drone. Pour minimiser la traînée, la conception doit être optimisée pour réduire la zone frontale et minimiser les turbulences. Enfin, la forme et la taille des pales des hélices ont un impact significatif sur la performance aérodynamique du drone. Des pales plus grandes ou plus larges peuvent fournir une portance supplémentaire, mais cela peut également augmenter la traînée et la consommation d'énergie. Des pales plus petites ou plus étroites peuvent réduire la traînée et la consommation d'énergie, mais cela peut également réduire la portance.

En conclusion, la conception aérodynamique d'un drone quadricoptère doit prendre en compte plusieurs facteurs pour assurer un vol stable et efficace. Les ingénieurs doivent trouver un équilibre entre la portance, la traînée et la stabilité pour réaliser un drone qui peut voler de manière sûre et efficace dans une variété de conditions.

2. Description générale du quad-copter

Un drone quadcopter est un drone qui utilise quatre hélices pour voler. Les hélices sont disposées en deux paires, une paire tourne dans le sens des aiguilles d'une montre et l'autre dans le sens inverse. Cette configuration permet un vol stable et contrôlé, ainsi qu'une excellente maniabilité en vol. Les corps (chassais) des quadricoptères sont généralement carrés ou rectangulaires, avec une construction légère en aluminium ou en plastique. Les drones sont généralement contrôlés à l'aide de télécommandes ou d'applications mobiles.

Le quadricoptère est également équipé de plusieurs capteurs pour mesurer les paramètres de vol tels que la vitesse, l'altitude et la direction. Ces capteurs sont connectés au contrôleur qui utilise les données pour régler la vitesse et la direction des moteurs, assurant ainsi un vol stable et contrôlé.



Figure 12: un drone quad-copter

3. Mode de vol

Les quadricoptères peuvent voler selon différents modes de vol en fonction des besoins et des objectifs du vol. Voici les modes de vol les plus courants :

3.1.Mode manuel

Dans ce mode, le drone est contrôlé via une télécommande qui oblige le pilote à régler manuellement les commandes de vol. Le pilote doit contrôler l'altitude, la vitesse, la direction et l'orientation du drone.

3.2.Mode stabilisé

Le drone fonctionne dans un mode qui repose sur des accéléromètres, des gyroscopes et des magnétomètres pour maintenir une position stable et contrôlée pendant le vol. De ce fait, le pilote n'a pas besoin de régler manuellement les commandes de vol puisque le drone peut maintenir son orientation et sa position sans effort.

3.3.Mode GPS

Le système de positionnement GPS du drone lui permet de maintenir avec précision sa position en vol. Ce mode permet au drone de conserver une altitude et une position fixes dans l'espace aérien en exploitant les données GPS. Cette fonctionnalité est particulièrement avantageuse pour des missions telles que la cartographie et la surveillance.

3.4. Mode RTH (Retour à la maison)

Dans ce mode, le drone utilise les données GPS pour revenir automatiquement au point de départ. Ceci est utile si le drone perd la connexion avec la télécommande ou si la batterie est faible.

3.5.Mode Follow-me

Dans ce mode, le drone suivra automatiquement le sujet à une certaine distance et altitude. Cette fonctionnalité est couramment utilisée dans la photographie aérienne et la vidéo. Ces modes de vol peuvent être ajustés et personnalisés en fonction des besoins de chaque utilisateur ou entreprise. De manière générale, les drones modernes sont équipés de plusieurs modes de vol pour offrir une expérience de vol personnalisée et contrôlable.

4. Mouvement du quad-copter

4.1.Vol stationnaire

Un drone peut planer en maintenant une position fixe dans l'espace sans se déplacer dans une direction donnée.

4.2.Mouvement vers l'avant

Le drone peut avancer en inclinant légèrement son corps et en augmentant la vitesse de ses hélices avant.

4.3. Mouvement vers l'arrière

Le drone peut reculer en inclinant légèrement le corps et en augmentant la vitesse des hélices arrière.

4.4.Mouvement latéral

En ajustant la vitesse de ses hélices en conséquence, le drone a la capacité de se déplacer latéralement soit vers la gauche soit vers la droite.

4.5.Mouvement vertical

En augmentant ou en diminuant la vitesse de ses hélices, le drone a la capacité de monter ou de descendre.

4.6. Rotation

Le drone peut tourner sur lui-même dans le sens horaire ou antihoraire en modifiant la vitesse de ses hélices opposées.

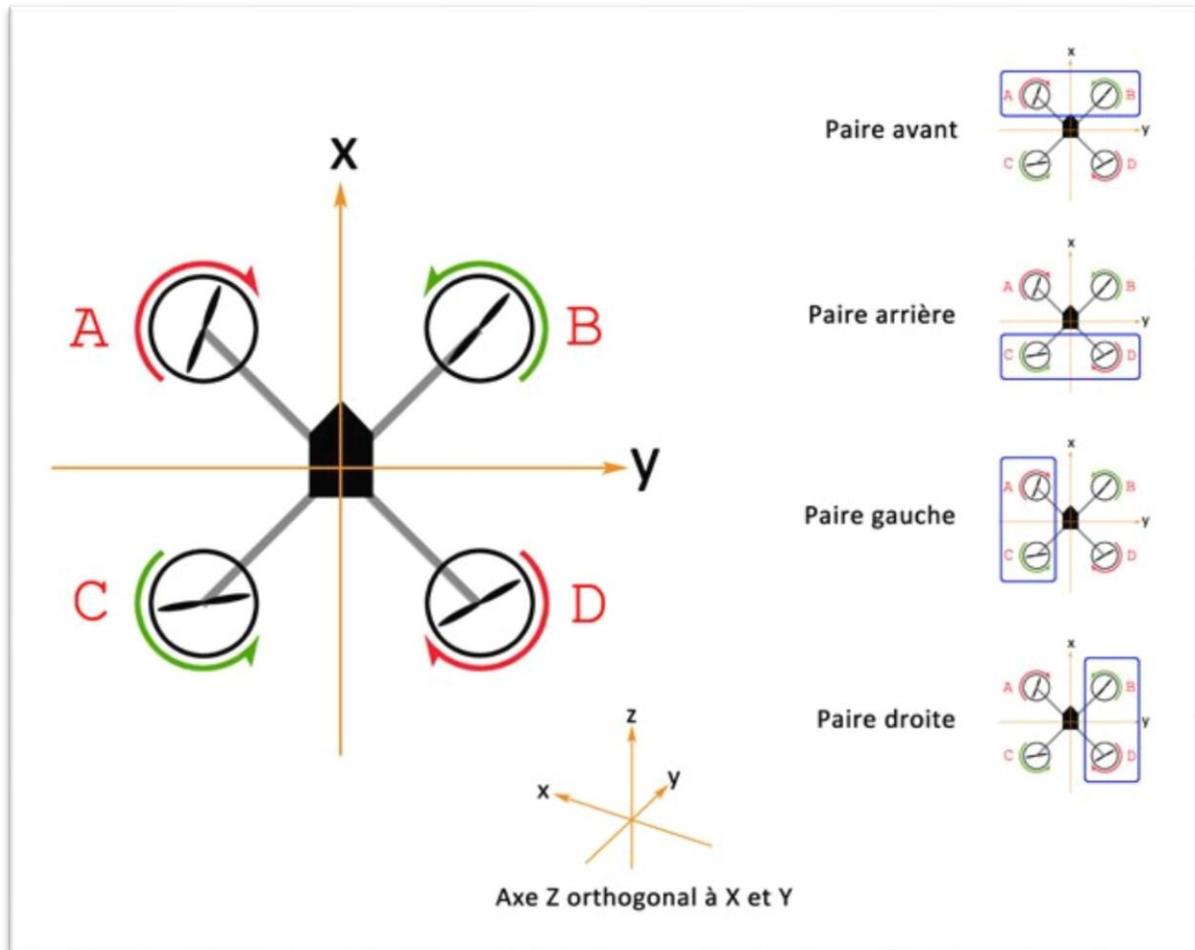


Figure 13: Mouvement du quad-copter

5. Les efforts physiques agissants sur le quad-copter²

5.1. Forces agissant sur le drone

La force de gravité : le poids du drone qui attire le drone vers le bas. Elle s'exprime par la formule :

Poids= Masse x Intensité de pesanteur

Le poids en Newton, la masse en Kg et l'intensité de pesanteur en N/Kg

² (02- Site web : <https://tpedronesss2019.webnode.fr>)

Chapitre II

Aérodynamique d'un drone quad-copter et modélisation d'un moteur à courant continu

La portance : La capacité du drone à décoller est attribuée à une force qui dépasse son poids. En ce qui concerne les drones, leur portance est générée par les hélices, qui rencontrent le vent lorsqu'il passe sur les sections supérieure (extrados) et inférieure (intrados) des hélices.

Lors du passage au niveau de l'extrados, la zone doit parcourir un chemin plus long, ce qui entraîne une vitesse plus élevée et une pression plus faible, également appelée dépression. La région qui traverse le niveau intrados a une vitesse réduite, ce qui entraîne une condition dans laquelle la pression à cet endroit est supérieure à la zone environnante (appelée surpression). En combinant les effets de la surpression et de la dépression, l'hélice est soulevée vers le haut en raison de la force de portance qui en résulte.

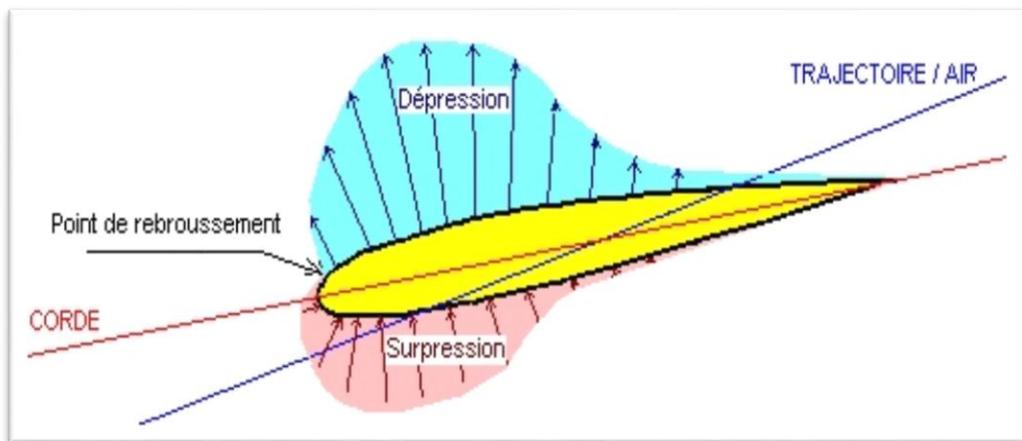


Figure 14: Aile d'une Hélice

La formule de la force de la portance est donnée par :

$$F_p = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S \times C_p \quad (1)$$

-la masse volumique de l'air ρ en kg/m^3 .

La densité de l'air affecte les performances de l'avion. La densité dépend de la pression, de la température et de l'humidité donc de l'altitude.

-la vitesse V du vent en m/s

-la surface de l'aile en m^2

-le coefficient de portance C_p

La force de traînée : Résistance de l'air contre le mouvement des drones. Cette force est encore plus importante lorsque le drone se déplace à grande vitesse.

La formule pour calculer force de traînée est :

Chapitre II

Aérodynamique d'un drone quad-copter et modélisation d'un moteur à courant continu

$$F_t = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S \times C_t \quad (2)$$

F_t : Force de trainée en N

C_t : Coefficient de trainée

V : vitesse du vent

La traction ou la poussé :

Cette force est générée par le moteur. Cela est dû à l'accélération des deux moteurs arrière permettant au drone d'avancer lorsqu'elle est supérieure à la résistance, donc c'est l'inverse de la résistance.

Il peut être déterminé par la formule suivante :

$$F_t = \rho \times C_t \times n^2 \times D^4 \quad (3)$$

n^2 : vitesse de rotation de l'hélice en tours / seconde

D : diamètre de l'hélice

C_t : coefficient de traction

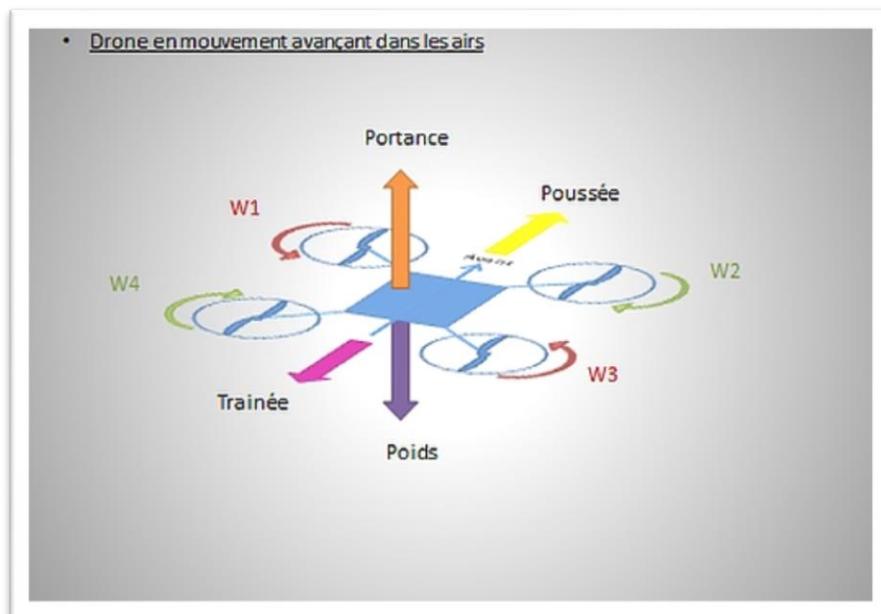


Figure 15: Illustration des forces agissant sur un quad-copter stagnant dans les airs

-Le poids

-La portance

Pour voler, la portance exercée sur le drone doit être supérieure à son poids

-La trainée

-La traction

Chapitre II

Aérodynamique d'un drone quad-copter et modélisation d'un moteur à courant continu

Pour avancer, la traction appliquée doit être supérieure à la résistance. Toutes ces forces doivent être équilibrées pour que le drone vole de manière stable et contrôlée. Le contrôleur de vol est l'ordinateur de bord du drone qui ajuste la vitesse de chaque hélice pour maintenir un équilibre des forces et faire voler le drone dans la direction souhaitée.

5.2.Effet gyroscopique

L'effet gyroscopique est un phénomène physique qui se produit lorsqu'un objet en rotation subit une force perpendiculaire à son axe de rotation. Cette force est appelée force gyroscopique.

Dans le cadre des drones quadrotors, l'effet gyroscopique est important car les hélices tournent à des vitesses élevées et génèrent des forces gyroscopiques importantes. Cette force peut avoir plusieurs effets sur le drone :

Stabilité directionnelle : la force gyroscopique peut aider à maintenir la stabilité directionnelle du drone en résistant aux changements brusques de direction.

Précession gyroscopique : lorsque le drone subit une force latérale, la force gyroscopique peut causer une rotation du drone dans une direction différente de celle de la force appliquée. C'est ce qu'on appelle la précession gyroscopique.

Effet sur les mouvements d'oscillation : la force gyroscopique peut également avoir un effet sur les mouvements d'oscillation du drone, notamment sur l'oscillation de roulis.

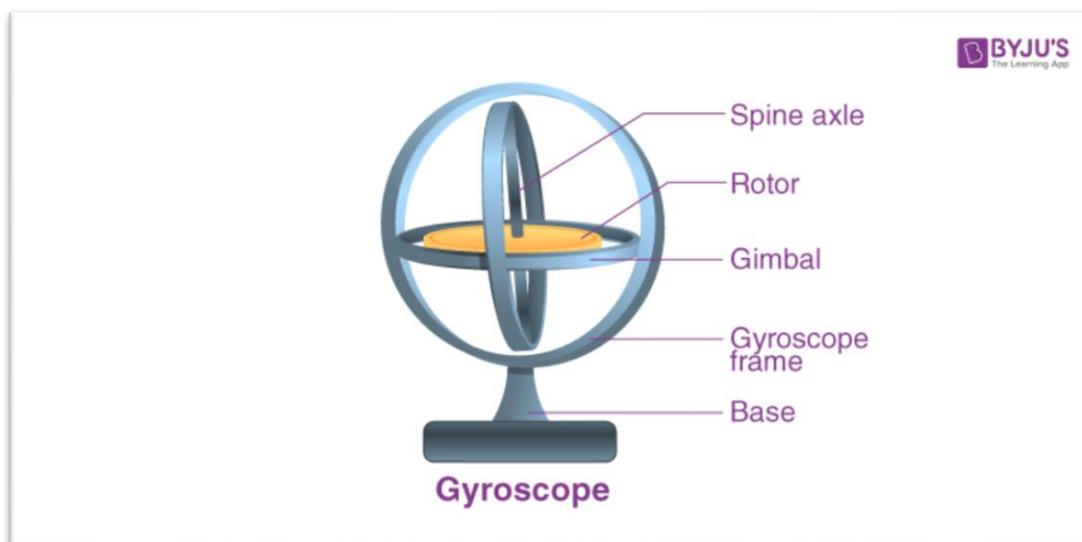


Figure 16: un gyroscope

6. La modélisation d'un moteur à courant continu³

Les moteurs à courant continu peuvent être modélisés à l'aide de diverses méthodes telles que l'analyse de circuit équivalent, l'analyse d'équations différentielles ou l'utilisation de modèles numériques.

Cependant, l'une des approches les plus courantes consiste à utiliser le modèle équivalent de Thevenin. Ce modèle considère un moteur à courant continu comme une source de tension (force électromotrice ou emf) en série avec une résistance (la résistance interne du moteur). Le couple produit par le moteur est proportionnel au courant traversant le moteur, et l'amplitude du courant est déterminée par la tension appliquée au moteur et la résistance interne.

6.1. Schéma équivalent

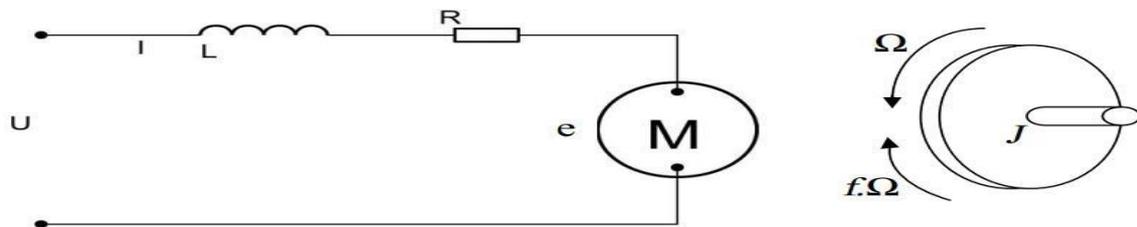


Figure 17: Schéma équivalent d'un moteur à courant continu

6.2. Les équations électriques et mécaniques

D'après la loi de Newton, combiné à des lois de Kirchhoff, on peut écrire les équations différentielles de premiers ordres suivantes :

$$U(t) = R i(t) + \frac{L di(t)}{dt} + e(t) \quad (4)$$

$$e(t) = K_c \Omega(t) \quad (\text{si } \emptyset = \text{cte}) \quad (5)$$

D'après le principe fondamental de la dynamique on a :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C - C_r - f_\Omega \quad (6)$$

$$Cu = Kc i(t) - Cp \quad (7)$$

$$Cp = f \Omega(t) \quad (8)$$

$u(t)$: Tension appliquée au moteur

$e(t)$: Force contre électromotrice

³ Mémoire de fin d'étude soutenu publiquement à OUM EL BOUAGUI par Ayeb Fakhreddine Conception et implémentation d'une commande PID numérique d'un moteur à courant continu

Chapitre II

Aérodynamique d'un drone quad-copter et modélisation d'un moteur à courant continu

$i(t)$: Intensité traversant le moteur

$\Omega(t)$: Vitesse de rotation du rotor

Cu : Couple moteur généré

Cr : Couple résistant

f : Coefficient de frottement visqueux

J : Moment d'inertie de l'axe du rotor

Ke : Constante de vitesse

Kc : Constante de couple

Cp : Couple de frottement

6.3.Fonction de transfert du moteur

La Transformée de Laplace des équations (4) et (5) donne :

$$Ri(p) + pL i(p) + E(p) = U(p) \quad (9)$$

$$E = Ke \Omega(p) \quad (10)$$

$$Jp \Omega(p) = Cu - Cr \quad (11)$$

En combinant (9) et (10) on obtient :

$$U(p) = Ri(p) + Lp i(p) + Ke \Omega(p) \quad (12)$$

En modifiant (11) on a :

$$Jp \Omega(p) = Kc i(p) - Cr - f \Omega(p) \quad (13)$$

On en déduit l'expression de $\Omega(p)$:

$$\Omega(p) = \frac{Kc i(p) - Cr}{f + Jp} \quad (14)$$

On peut en sortir l'expression de $I(p)$:

$$I(p) = \frac{f + Jp}{Kc} \left(\Omega(p) + \frac{Cr}{f + Jp} \right) \quad (15)$$

Chapitre II

Aérodynamique d'un drone quad-copter et modélisation d'un moteur à courant continu

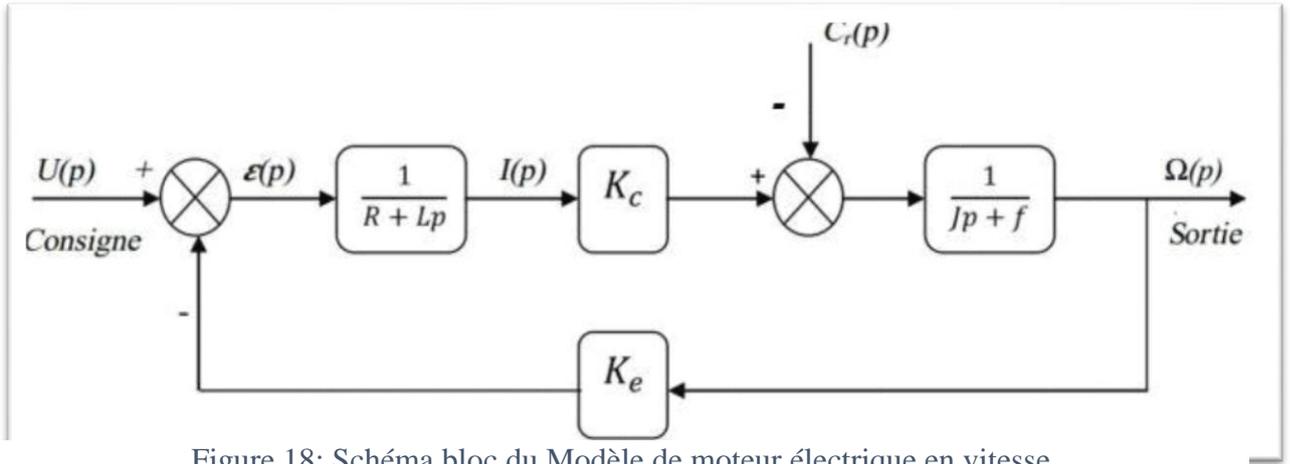


Figure 18: Schéma bloc du Modèle de moteur électrique en vitesse

On l'injecte à présent dans (9)

$$U(p) = \Omega(p) \left(\frac{(R+Lp)(f+Jp)}{K_c} + K_e \right) + \frac{R+Lp}{f+Jp} C_p \quad (16)$$

- On suppose que le moment de la coupe de pertes (qui est vu comme une perturbation) est négligeable devant le moment du couple électromagnétique ($K_c i(t)$) on peut alors prendre C_p nul pour simplifier le système.

Donc :

$$U(p) = \Omega(p) \left(\frac{(R+Lp)(f+Jp)}{K_c} \right) + K_e \quad (17)$$

Donc la fonction de transfert sera :

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_c}{(R+Lp)(f+Jp)K_c K_e} \quad (18)$$

Ces équations peuvent être utilisées pour modéliser le comportement d'un moteur à courant continu dans différentes conditions de fonctionnement, telles que des changements de charge, de tension ou de vitesse de rotation.

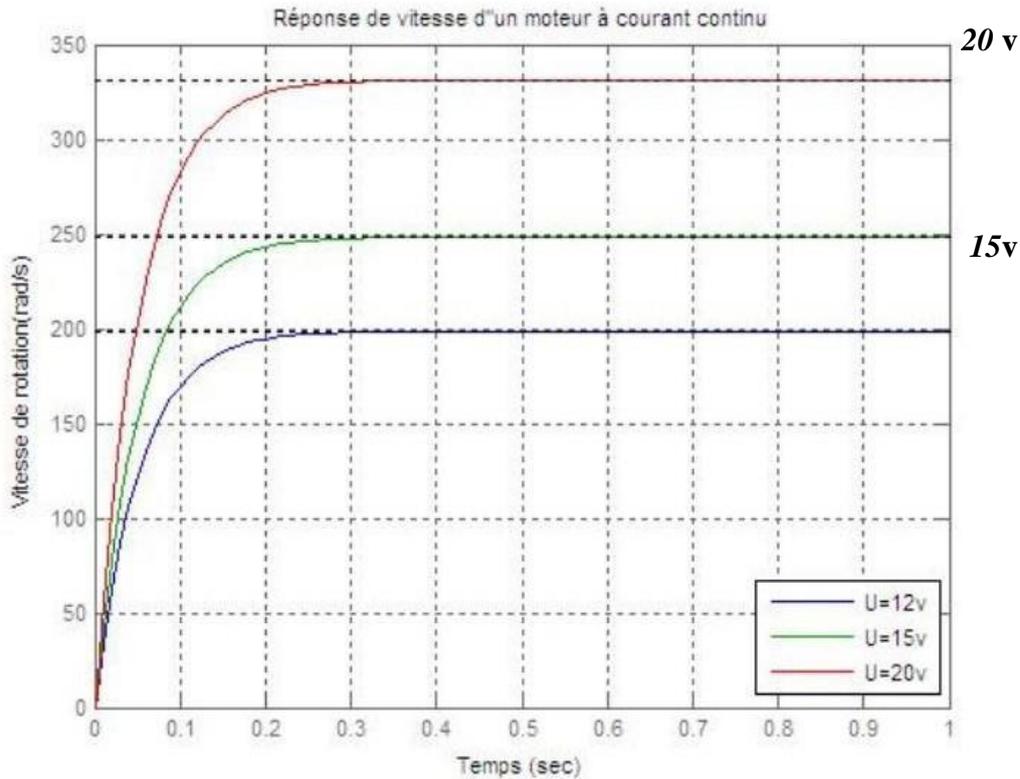


Figure 19: Exemple de modélisation sous Matlab de la réponse de vitesse

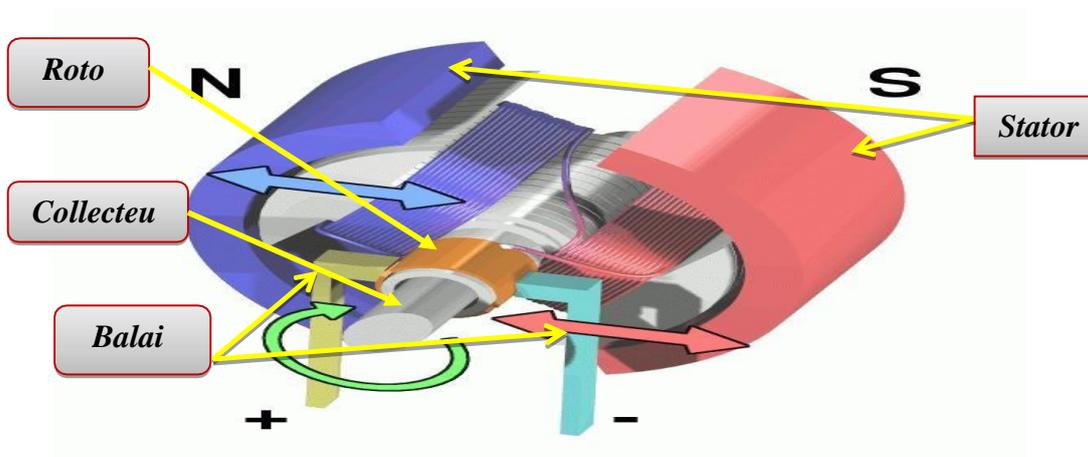


Figure 20: Schéma d'un moteur à courant continu

7. Le PID (proportionnel-intégral-dérivé)

Dans de nombreux systèmes de contrôle, le PID (proportionnel-intégral-dérivé) est un contrôleur de boucle de rétroaction utilisé. Il permet de conserver une variable de sortie, telle que la position, la vitesse ou la température, à une valeur souhaitée en régulant une variable d'entrée telle que la vitesse, la puissance ou le débit du moteur.

Pour calculer la variable de sortie, le contrôleur PID utilise trois termes distincts qui

Chapitre II

Aérodynamique d'un drone quad-copter et modélisation d'un moteur à courant continu

dépendent de l'écart entre la valeur souhaitée et la valeur réelle de la variable de sortie.

- Le terme proportionnel (P) est proportionnel à l'écart actuel entre la valeur désirée et la valeur réelle. Plus l'écart est grand, plus le terme proportionnel sera important.
- Le terme intégral (I) est proportionnel à la somme de tous les écarts passés entre la valeur désirée et la valeur réelle. Le terme intégral permet de corriger les erreurs de biais à long terme.
- Le terme dérivé (D) est proportionnel à la vitesse à laquelle l'écart change. Ce terme permet d'anticiper les changements à venir et de prévenir les oscillations.

Les trois termes qui composent le contrôleur PID sont intégrés pour calculer une sortie qui minimisera la différence entre la valeur anticipée et la valeur actuelle. La signification de chaque terme peut être personnalisée pour répondre aux exigences du système.

Lors du calcul du contrôleur PID, un certain nombre de paramètres doivent être pris en considération et sélectionnés en fonction des attributs spécifiques du système qui nécessite une régulation. Ces paramètres sont communément appelés gains de contrôleur et reçoivent les symboles K_p , K_i et K_d pour représenter respectivement les composantes proportionnelle, intégrale et dérivée.

On peut déterminer les valeurs de ces gains par des moyens empiriques en les ajustant jusqu'à ce que le contrôleur réponde aux critères souhaités. Cependant, il existe également des techniques plus structurées pour évaluer les valeurs de gain appropriées.

L'une des méthodes les plus largement utilisées pour calculer les valeurs de gain d'un régulateur PID est la méthode de Ziegler-Nichols. Cette technique nécessite l'application d'une étape de contrôle de pas à l'entrée du système, suivie de l'observation de la sortie résultante. Sur la base des commentaires, les gains sont ensuite ajustés en conséquence pour améliorer les performances globales du système.

La méthode connue sous le nom de Ziegler-Nichols implique un processus plus spécifique - d'abord, le gain proportionnel est 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 gain critique (K_c). Ensuite, les valeurs K_i et K_d sont déterminées sur la base de la valeur K_c .

- Pour un contrôleur PID à action proportionnelle seule (P), on prend $K_p = 0,5 \times K_c$

Chapitre II

Aérodynamique d'un drone quad-copter et modélisation d'un moteur à courant continu

- Pour un contrôleur PID à action proportionnelle-intégrale (PI), on prend $K_p = 0,45 \times K_c$ et $K_i = 1,2 \times K_p / \text{Temps de montée en boucle ou système (T)}$
- Pour un contrôleur PID à action proportionnelle-intégrale-dérivée (PID), on prend $K_p = 0,6 \times K_c$, $K_i = 1,2 \times K_p / T$, et $K_d = 0,075 \times K_p \times T$.

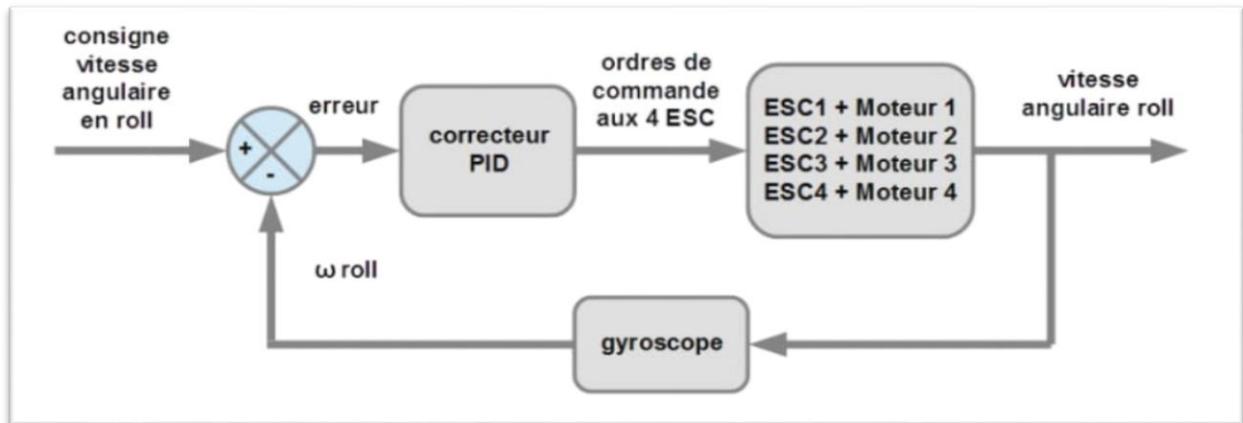


Figure 21: Structure du PID d'un drone quadricoptère

Il est important de noter que ces valeurs ne sont que des recommandations et que les gains du contrôleur PID doivent être ajustés en fonction des caractéristiques spécifiques du système à contrôler.

8. Conclusion

L'aérodynamique des drones quadrotor est un sujet important pour comprendre comment les drones volent et comment ils sont contrôlés. Les drones quadrotor utilisent quatre hélices pour générer une poussée et un couple qui leur permettent de se déplacer dans les airs et d'effectuer des manœuvres complexes.

Les principaux facteurs affectant l'aérodynamique d'un drone quadrirotor sont la taille et la forme des hélices, la disposition des hélices, la puissance des moteurs et la conception globale du drone. Comprendre ces facteurs peut aider les concepteurs de drones à créer des modèles plus efficaces et plus faciles à piloter.

Chapitre III :

Réalisation du prototype

1. Introduction :

La réalisation d'un drone implique plusieurs composantes essentielles, telles que :

Le châssis : c'est la structure de base du drone qui soutient toutes les autres composantes.

Les moteurs : ils fournissent la puissance nécessaire pour faire voler le drone.

Les hélices : elles sont attachées aux moteurs et créent la force de levage pour maintenir le drone en l'air.

Les batteries : elles fournissent l'énergie nécessaire pour alimenter les moteurs et les autres composantes électroniques.

Le contrôleur de vol : il est responsable de la stabilisation et de la navigation du drone en vol.

La caméra : elle permet de capturer des images et des vidéos depuis le drone.

Le système de transmission : il permet de transmettre en temps réel les images et les vidéos capturées par la caméra.

Les capteurs : ils mesurent les mouvements et les conditions environnementales, tels que la pression atmosphérique, la température et l'altitude.

Le système de navigation : il permet au drone de se déplacer de manière autonome en utilisant des capteurs tels que les GPS.

2. Cahier des charges

L'objectif principal de ce mini projet est l'installation des pièces du drone et de le faire voler.

3. Planification du mini projet

Tache (1) : étude générale sur le mini-projet.

Tache (2) ; demander la pièce importante depuis laboratoire

Tache (3) : Installation de pièces électroniques composant dans les pins spécifiques.

Tache (4) ; programmation de Arducopter APM 2.8.

Tache (5) ; tests du drone

4. Liste des composant

4.1.Châssis :

Le châssis d'un drone quadricoptère est la structure principale qui soutient et relie tous les composants essentiels du drone. Il fournit une plate-forme solide et stable pour le montage des moteurs, des hélices, de l'électronique de contrôle, de la batterie et d'autres éléments.

Le châssis d'un drone quadricoptère est généralement conçu pour être léger mais résistant, afin de minimiser le poids total du drone tout en assurant sa durabilité. Les matériaux couramment utilisés pour les châssis de drones comprennent le plastique, la fibre de carbone et l'aluminium. La conception du châssis peut varier en fonction de l'application et des préférences du constructeur du drone. Cependant, la plupart des châssis de drones quadricoptères sont composés 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 les moteurs. L'électronique de contrôle, telle que la carte de contrôle de vol et les contrôleurs de vitesse des moteurs (ESC, Electronic Speed Controllers), est généralement montée sur le châssis, souvent au centre ou dans un compartiment spécifique.



Figure 22: F450 Frame

Caractéristiques:⁴

- Connexions PCB intégrées pour le soudage direct de vos ESC.
- Manchons en laiton pré-filetés pour tous les boulons du cadre.

⁴Site web : <https://www.jsumo.com/f450-frame-kit-not-assembled>

Chapitre III

Réalisation du prototype

- 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

4.2.Moteurs brushless⁵ :

Le principal inconvénient des moteurs à courant continu est la présence de balais qui créent des frottements, des interférences et limitent la durée de vie du moteur par usure. Pour éviter tous ces problèmes, nous utilisons des moteurs sans balais.

Mis à part le collecteur, un moteur sans balais a les mêmes composants qu'un moteur à courant continu, mais avec les bobines et les aimants permanents positionnés à l'envers. Le rotor est constitué d'un ou plusieurs aimants permanents et le stator est constitué de plusieurs enroulements.

Voici quelques avantages des moteurs brushless pour drones :

Efficacité : les moteurs sans balais sont plus efficaces que les moteurs à balais, ce qui signifie qu'ils utilisent moins d'énergie pour produire la même quantité d'énergie. Cela signifie que les drones peuvent voler plus longtemps.

Puissance : Les moteurs sans balais peuvent fournir une plus grande puissance que les moteurs à balais, permettant aux drones de voler plus haut, plus vite et plus loin.

Durabilité : les moteurs sans balais ont moins de pièces mobiles que les moteurs à balais, ce qui réduit l'usure et augmente la durabilité.

⁵ Site web : <http://www.moteurindustrie.com/brushless/technique.html>

Chapitre III Réalisation du prototype

Précision : Les moteurs sans balais sont plus précis que les moteurs à balais en termes de contrôle de vitesse et de position, ce qui confère au drone une meilleure stabilité en vol et une meilleure capacité à effectuer des manœuvres précises.

Faible bruit : Les moteurs sans balais sont généralement plus silencieux que les moteurs à balais, ce qui est un avantage pour les drones utilisés dans des environnements sensibles au bruit.

Le type de moteur à notre drone :



Figure 23: 980KV EMAX XA2212 Moteur Brushless

Specification : ⁶

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

4.3. Contrôleur de vitesse électronique (ESC) ⁷:

L'ESC (Electronic Speed Controller) ou la transmission peut régler la vitesse du moteur

⁶ site web : <https://dronesinpakistan.com/product/980kv-emax-xa2212-brushless-motor-for-rc-plane-and-drone/>

⁷ Site web : <https://altidrone.ch/2015/09/27/moteurs-esc-variateurs-helices-comment-choisir-le-bon-ensemble/>

Chapitre III

Réalisation du prototype

brushless, le principe est simple : l'ESC reçoit la valeur PWM via le récepteur de la télécommande ou via n'importe quel contrôleur, puis fait tourner le moteur. L'ESC se compose de 2 fils positifs et négatifs pour obtenir l'alimentation de la batterie, 3 fils pour réguler la vitesse et éventuellement alimenter le récepteur ou le contrôleur (positif,négatif,données) et 3 fils de sortie pour faire fonctionner le moteur.

Les ESC sont particulièrement importants pour les drones car ils permettent un contrôle précis et sensible de la vitesse et de la direction du moteur. Ceci est essentiel pour stabiliser le vol et effectuer des manœuvres complexes telles que des virages serrés et des acrobaties aériennes.

Les ESC modernes peuvent également être programmés pour des fonctions spéciales, telles que le retour automatique lorsque le signal radio est perdu



Figure 24: Electronique Speed Controller 30A

4.4.Hélices :

Les hélices utilisées pour les drones sont spécialement conçues pour répondre aux besoins spécifiques des drones et peuvent différer en taille, forme et matériau en fonction de l'objectif pour lequel le drone est utilisé. Par rapport aux hélices utilisées par d'autres véhicules comme les avions ou les navires, les hélices de drones sont souvent plus petites et plus légères. La taille et le pas des hélices de drone jouent un rôle crucial dans la détermination du type de poussée qu'il peut générer et de la vitesse à laquelle les hélices tournent. Les hélices à pas inférieur permettent une maniabilité améliorée et une réponse rapide aux commandes. En revanche, ceux avec des pas plus élevés peuvent offrir une plus grande poussée pour soulever et transporter des charges plus lourdes.

Chapitre III

Réalisation du prototype

Les hélices de drones peuvent être créées à partir d'une gamme de matériaux, tels que le plastique, les composites de carbone, les métaux légers ou un mélange de ces substances. Les hélices doivent être correctement équilibrées pour éviter les vibrations indésirables qui peuvent entraîner des problèmes de performances et une instabilité du drone.



Figure 25: hélices pour drone

Pour notre drone on va utiliser ce type de hélices :⁸

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

4.5. Batterie :⁹

Les batteries les plus couramment utilisées sont généralement de type LiPo (Lithium Polymère). Les batteries LiPo sont encore des accumulateurs électrochimiques dont la réaction est basée sur le lithium, non pas à l'état ionique (pour le Li-ion), mais à l'état polymère (l'électrolyte est

⁸ Site web : <https://powertech-dz.net>

⁹ Site web : <https://blog.patrickmodelisme.com/>

Chapitre III Réalisation du prototype

sous forme de gel), ce qui le rend plus sûr que son Li -cousin des ions "Par rapport aux batteries nickel métal hydrure, il y a de nombreux avantages

Les batteries au lithium polymère sont connues pour leur haute densité d'énergie, ce qui signifie qu'elles peuvent stocker plus d'énergie dans moins d'espace que les autres types de batteries. Leur poids léger et leur courant de sortie élevé les rendent idéaux pour les applications hautes performances.

Cependant, les batteries au lithium polymère nécessitent également une manipulation et une charge soigneuses pour garantir leur utilisation en toute sécurité. La surcharge, la surchauffe ou la perforation d'une batterie au lithium polymère peut provoquer un incendie ou une explosion. Suivez toujours les instructions et les consignes de sécurité du fabricant lors de l'utilisation et du stockage des batteries au lithium polymère.

La batterie utilisé pour notre drone est de ce type : Batterie Lipo 3S 3300mah



Figure 26: Batterie Lipo 3S 3300mah

4.6. Radio-commande :¹⁰

La télécommande RadioLink est une télécommande utilisée pour contrôler les drones, les avions rc, les voitures rc, les bateaux et autres appareils électroniques. Il est fabriqué par RadioLink Technology Co. Ltd., une société spécialisée dans la conception et la production de systèmes de télécommande pour les applications RC.

Les radiocommandes RadioLink utilisent la technologie de transmission de signal sans fil pour communiquer avec un récepteur électronique monté sur l'appareil RC. Il offre une plage de contrôle allant jusqu'à plusieurs centaines de mètres, selon le modèle.

¹⁰ Site web : <https://www.radiolink.com>

Chapitre III

Réalisation du prototype

La RadioLink est disponible en différents modèles, chacun avec des fonctionnalités et des spécifications spécifiques pour répondre aux besoins des différents types d'appareils RC. Elle est connue pour sa facilité d'utilisation, sa fiabilité et sa précision de contrôle.

En résumé, la radiocommande RadioLink est une télécommande de haute qualité qui offre une connectivité sans fil robuste et une grande portée de contrôle pour les applications RC.

On a utilisé Radiolink T8FB pour notre drone

T8FB Specifications:

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 27: Radiolink T8FB

Avec le receptrer de type (receiver R8EF)

Chapitre III
Réalisation du prototype



Figure 28: (receiver R8EF)

Note : Il existe différents types de contrôleurs de vol sur le marché et nous utiliserons l'un d'entre eux

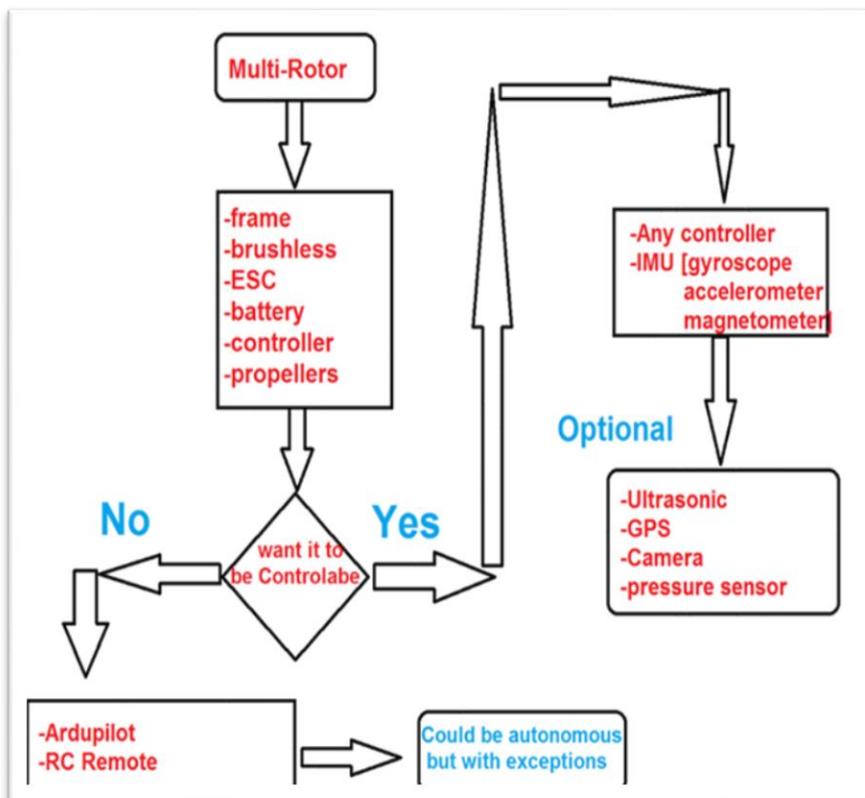


Figure 29: algorithme de vol d'un drone quadricoptère

4.7. ARDUOPTER APM 2.8:

L'ArduCopter APM 2.8 est une carte de contrôle de vol open source populaire pour les drones multi-rotors. Il est basé sur la plate-forme Arduino, équipée d'un microcontrôleur

Atmega2560, de capteurs tels qu'un accéléromètre, un gyroscope, un magnétomètre et un baromètre, et d'un GPS.

La carte APM 2.8 peut être programmée à l'aide du logiciel open source Mission Planner, qui vous permet de configurer les paramètres de vol, de planifier des missions de vol, de calibrer des capteurs et de visualiser les données de vol en temps réel.

L'ArduCopter APM 2.8 offre aux développeurs et aux amateurs de drones une grande flexibilité et une grande facilité d'utilisation, ce qui en fait un choix populaire pour les projets de drones DIY (bricolage) ou les applications professionnelles telles que la cartographie, la surveillance et la photographie aérienne. Cependant, il est important de noter que cette carte date un peu, il existe des versions plus récentes et plus avancées pour la plate-forme ArduCopter telles que le Pixhawk et le Cube.



Figure 30: Arducopter APM 2.8

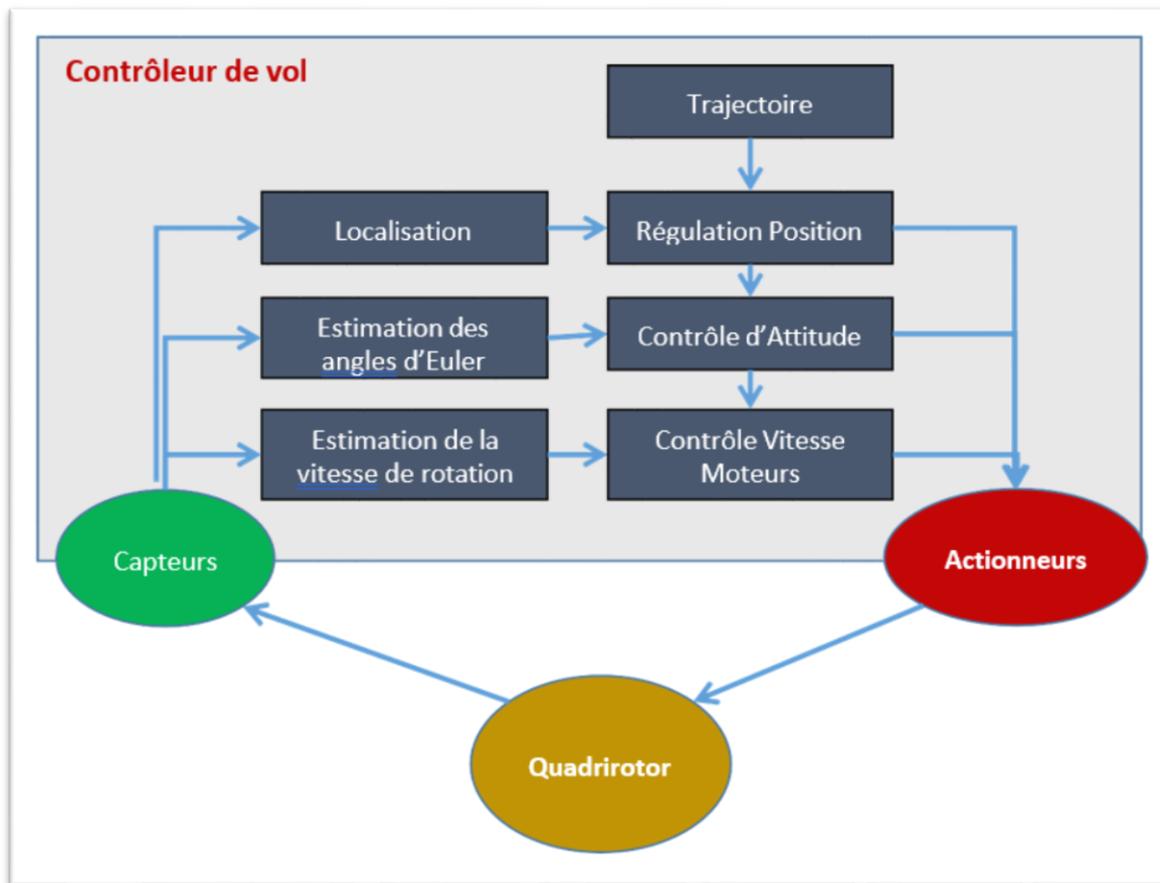


Figure 31: le rôle de contrôleur de vol

4.8. Gyroscope et un Accéléromètre :

Pour mesurer ses mouvements et son orientation, l'ArduCopter utilise à la fois un gyroscope et un accéléromètre en vol.

Le gyroscope est chargé d'évaluer la vitesse de rotation du drone selon ses trois axes : roulis, tangage et lacet. En fournissant des informations précises sur les modifications de la vitesse de rotation, le gyroscope permet au contrôleur de vol de maintenir la stabilité et le contrôle pendant le vol.

L'accéléromètre mesure l'accélération linéaire du drone dans trois dimensions spatiales (x, y et z). Cela lui permet d'identifier les actions du drone, y compris son inclinaison, son déplacement et son accélération. Le contrôleur de vol utilise ces informations pour maintenir la stabilité du drone et gérer sa position de vol.

4.9. Raspberry Pi 4

Chapitre III

Réalisation du prototype

Le Raspberry Pi 4 est un ordinateur monocarte populaire développé par la fondation Raspberry Pi. Il a été lancé en juin 2019 en tant que successeur du Raspberry Pi 3. Voici quelques caractéristiques clés et spécifications du Raspberry Pi 4 :

Processeur : Le Raspberry Pi 4 est alimenté par un SoC (System on a Chip) Broadcom BCM2711 quad-core Cortex-A72 (ARMv8) 64 bits, cadencé à 1,5 GHz.

RAM : Il est disponible dans différentes configurations de RAM, y compris 2 Go, 4 Go et 8 Go LPDDR4.

Connectivité : Le Raspberry Pi 4 comprend un Wi-Fi intégré bi-bande (2,4 GHz et 5 GHz) et un Ethernet Gigabit pour la connexion réseau. Il dispose également du Bluetooth 5.0.

USB : Il possède deux ports USB 2.0 et deux ports USB 3.0 pour connecter des périphériques tels que des claviers, des souris, des stockages externes et autres.

Sortie vidéo : Le Raspberry Pi 4 prend en charge la sortie vidéo double écran avec des résolutions allant jusqu'à 4K. Il dispose de deux ports micro HDMI pour connecter des écrans.

Stockage : Il utilise une carte microSD comme stockage principal. Il est également possible de connecter des périphériques de stockage externes via USB.

GPIO : Le Raspberry Pi 4 conserve le connecteur GPIO (Entrée/Sortie à usage général) à 40 broches, permettant de communiquer avec différents composants électroniques et cartes d'extension.

Système d'exploitation : Le Raspberry Pi 4 prend en charge différents systèmes d'exploitation, notamment Raspbian (maintenant appelé Raspberry Pi OS), Ubuntu et d'autres distributions Linux. Il est également possible d'exécuter Windows 10 IoT Core sur le Raspberry Pi 4.

Alimentation : Il nécessite une alimentation de 5V avec connecteur USB-C pour fonctionner.¹¹

Note : en utilisons le Raspberry pi pour les applications AI comme le traitement d'image et "Deep learning"

¹¹ Site web : <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>

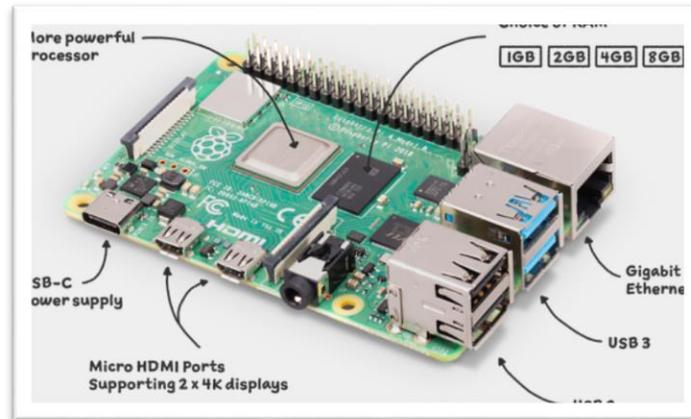


Figure 32:Raspberry Pi 4

4.9.Schéma Fonctionnel :

Bien que le schéma fonctionnel d'un drone puisse différer en fonction du type et du niveau de complexité spécifiques, certains composants principaux peuvent être couramment trouvés dans un drone.

Les moteurs et les composants électroniques sont alimentés par une source d'énergie fournie par une batterie rechargeable.

Le contrôleur de vol est le composant central d'un drone, agissant comme son processeur principal. Il est chargé d'analyser les données de plusieurs capteurs pour maintenir un vol stable, réguler la vitesse du drone et diriger sa trajectoire.

Le mouvement du drone est rendu possible par des moteurs qui le propulsent vers l'avant, tandis que la force de levage nécessaire pour le faire décoller est créée par des hélices.

Pour maintenir un vol stable, les drones utilisent des capteurs comme le gyroscope et l'accéléromètre pour mesurer leurs mouvements et leur orientation.

L'émetteur-récepteur radio est un composant crucial qui permet au drone d'être contrôlé à distance via un appareil séparé.

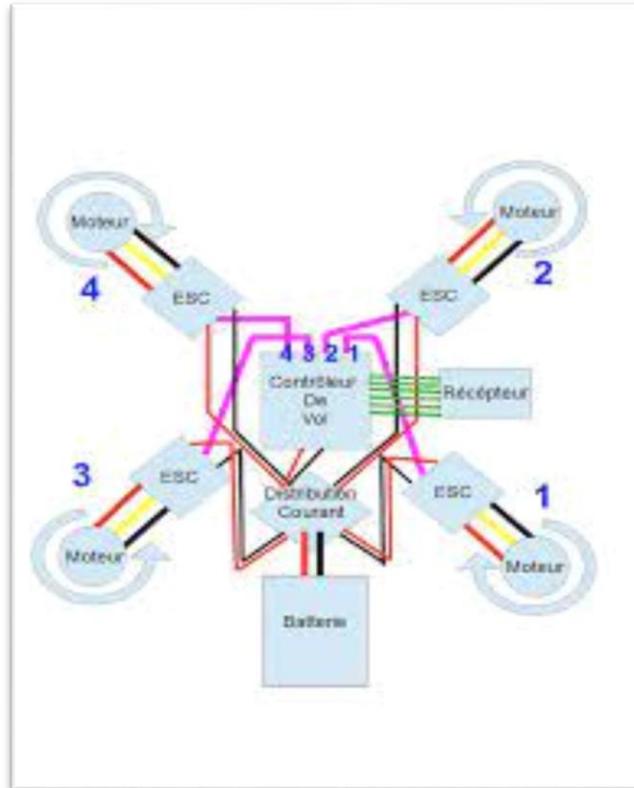


Figure 33: Schéma Fonctionnel

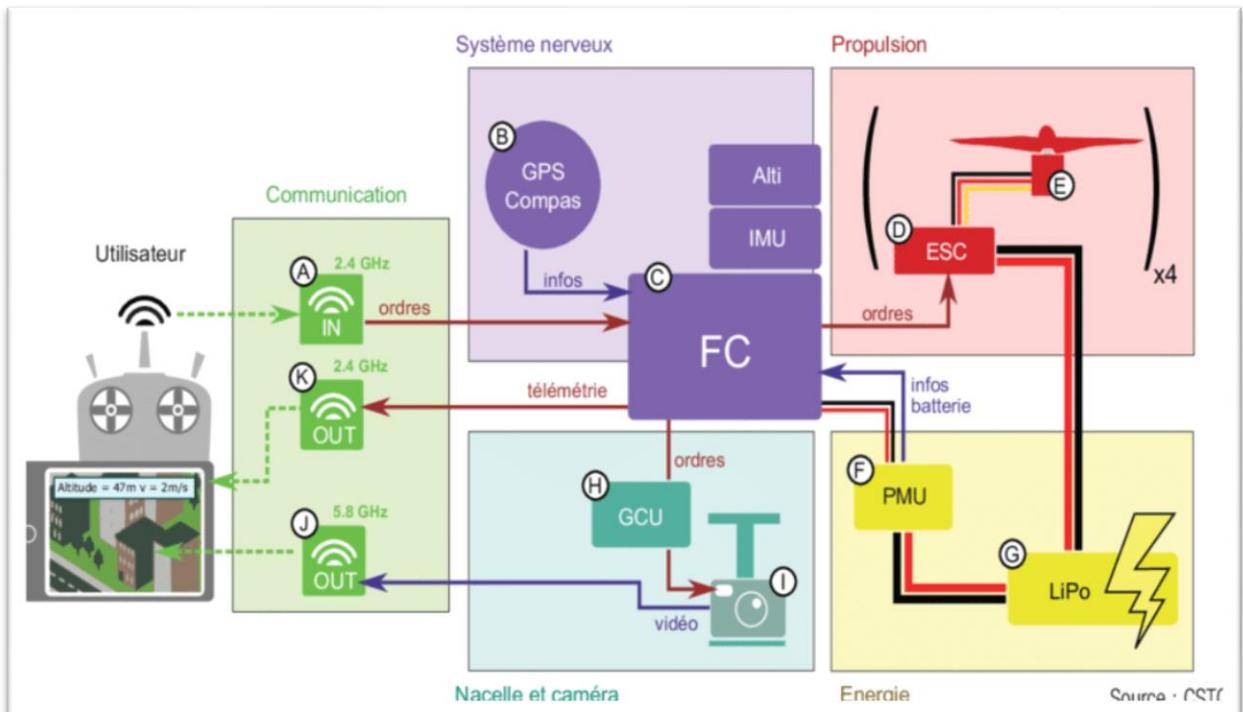


Figure 34: schéma simplifié

4.10. Schéma structurel :

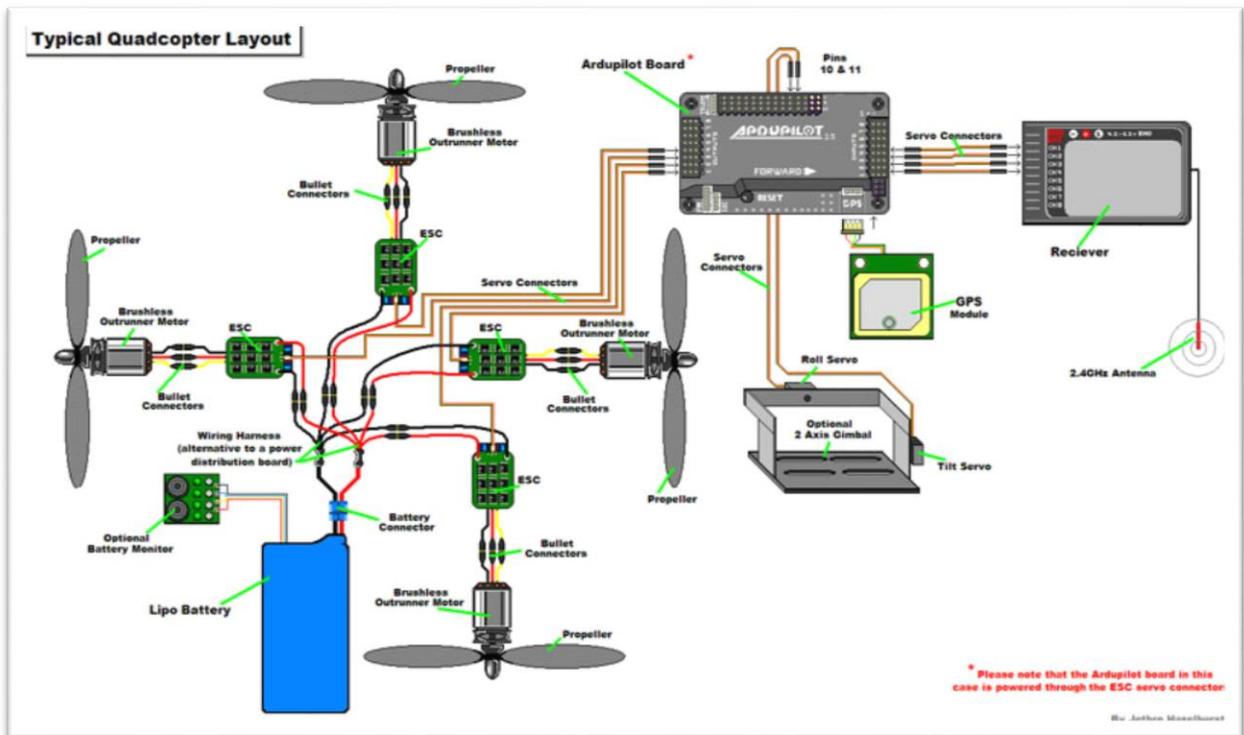


Figure 35: montage d'un arducopter drone

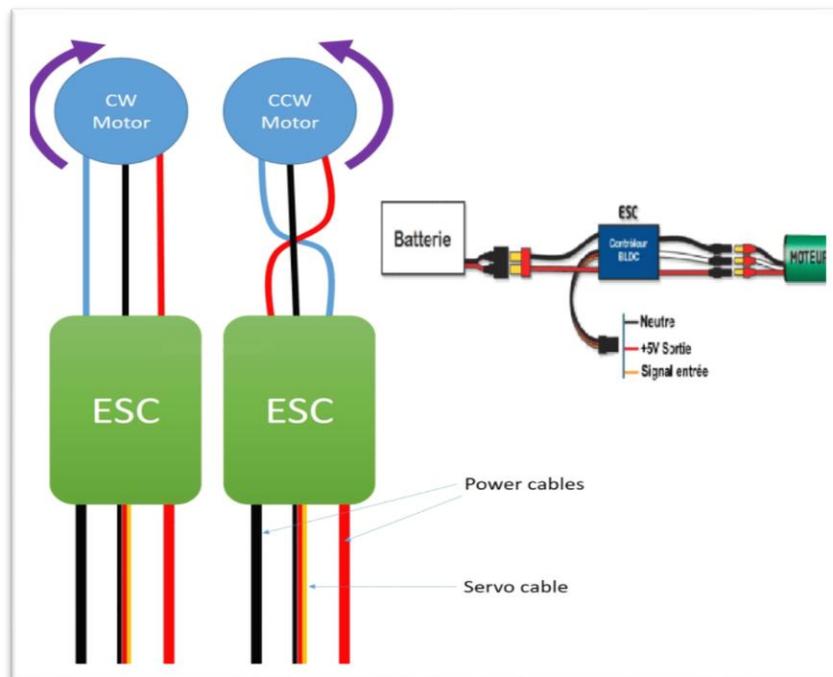


Figure 36: montage de variateur de vitesse avec les moteurs

9. Conclusion :

Enfin, on a parler dans ce chapitre sur les composantes nécessaires pour la réalisation d'un drone quadricoptère donc dans le chapitre suivante nous arrivons a la programmation de contrôleur de vol.

Chapitre IV :

Programmation du drone

1. Introduction :

Dans ce chapitre en vas parler sur la programmation du Arducopter avec logiciel avec Mission Planner.

Mission Planner est un logiciel open-source développé par la communauté ArduPilot pour la configuration, la planification et le contrôle de vol des drones basés sur la plateforme ArduPilot. Il s'agit d'un logiciel multi-plateforme qui peut être utilisé sur les systèmes d'exploitation Windows, Mac et Linux.

Le logiciel Mission Planner permet de configurer les paramètres de vol du drone, de planifier des missions de vol, de calibrer les capteurs et de visualiser les données de vol en temps réel. Il offre une interface graphique conviviale pour la gestion de la configuration du drone, la planification des missions de vol et la mise à jour du firmware.

Avec Mission Planner, les utilisateurs peuvent :

- Configurer les paramètres de vol tels que les limites de vitesse, les angles de stabilisation et les modes de vol
- Planifier des missions de vol en définissant des points de passage et des actions à effectuer à chaque point de passage
- Calibrer les capteurs du drone pour garantir leur précision et leur fiabilité
- Visualiser les données de vol en temps réel, telles que la position, la vitesse, l'altitude et les données du GPS

Mission Planner est un outil puissant pour les développeurs et les utilisateurs de drones basés sur la plateforme ArduPilot. Il permet de configurer et de contrôler facilement les drones pour une grande variété de tâches, telles que la cartographie, la surveillance, la photographie aérienne et la recherche et le sauvetage.

2. Programation du Arducopter avec Mission Planner :

2.1.Connecter le pilote automatique à l'ordinateur :

Une fois que nous avons installé une station au sol sur notre ordinateur, nous connectons le pilote automatique à l'aide d'un câble USB comme indiqué ci-dessous. Nous utilisons un port USB direct sur notre ordinateur (et non un concentrateur USB).



Figure 37: contrôleur de vol pixhawk

2.2.Sélectionnez le port COM :

Si nous utilisons Mission Planner comme GCS, nous sélectionnons le menu déroulant du port COM dans le coin supérieur droit de la fenêtre près du bouton Connecter. Nous sélectionnons AUTO ou le port spécifique de notre carte. Nous réglons le débit en bauds sur 115200 comme indiqué. Nous ne cliquons pas encore sur Connecter.

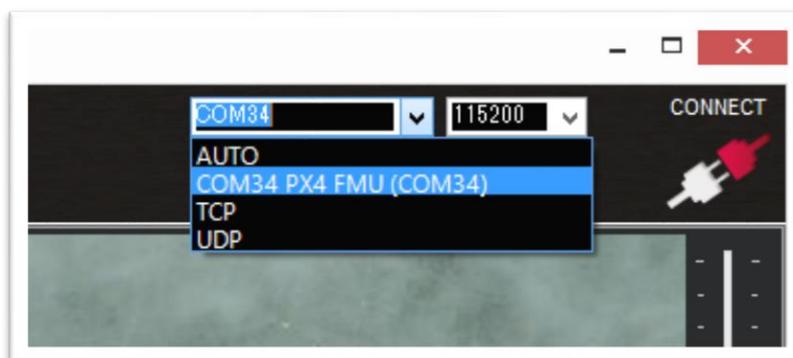


Figure 38: le port COM de Arducopter

2.3.Installer le micrologiciel :

Dans notre configuration de Mission Planner, sur l'écran d'installation du micrologiciel, nous sélectionnons l'icône appropriée qui correspond à notre véhicule ou à notre type de cadre (c'est-à-dire Quad, Hexa).

Chapitre IV Programmation du drone

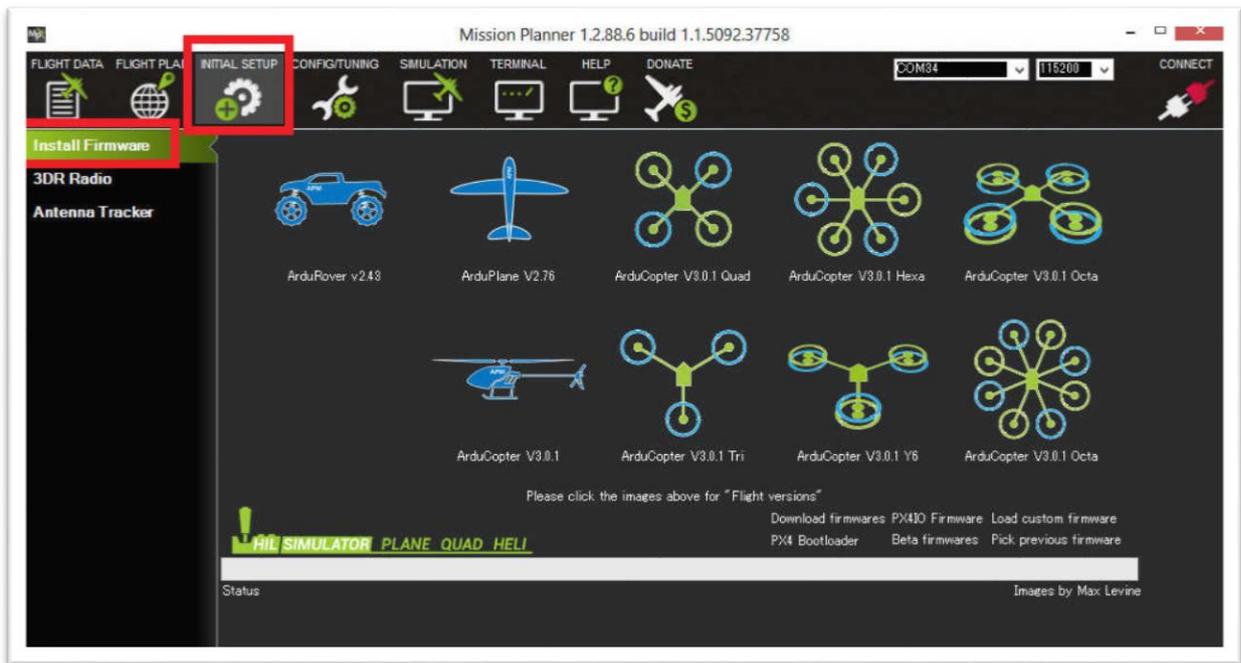


Figure 39: Téléchargement du system pour quadricopter

Mission Planner essaiera de détecter quelle carte nous utilisons. Il peut nous demander de débrancher la carte, d'appuyer sur OK, puis de la rebrancher afin de détecter le type de carte.

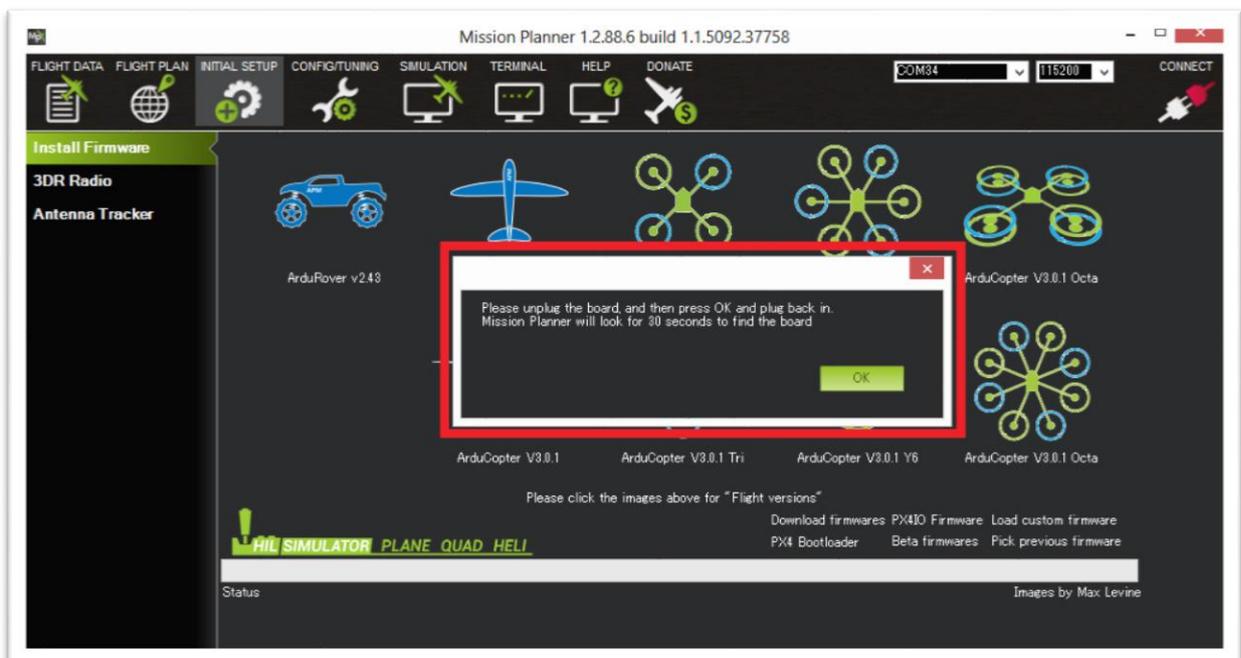


Figure 40: Installation du system quadricopter

2.4. Configuration du châssis :¹²

Après avoir établi avec succès une connexion pour la première fois, entre Drone FCU (Beagle Bone Blue) et GCS (Mission Planner) (indépendamment du MAVlink direct ou indirect), nous devons sélectionner le type de trame selon la conception du drone. Il ne s'agit pas d'une étape répétitive, mais effectuée pour la première fois ou après une réinitialisation majeure.



Figure 41: Configuration du châssis

2.5. Étalonnage radio :

Que les modes gaz, tangage, lacet, roulis et vol sont sélectionnés. Nous devons valider que la réponse à la gamme complète de commandes pour l'accélérateur, le tangage, le lacet et le roulis tandis que les interrupteurs à bascule sont programmés pour la sélection du mode de vol et toute autre commande que nous souhaitons avoir. Ceci est important pour toutes les missions manuelles. Même pour les missions autonomes, nous devons tester le drone localement avant le décollage. C'est donc une étape importante. J'utiliserai Taranis comme émetteur de contrôleur radio (RC) et le X8R comme récepteur de contrôleur radio (RC) que nous avons connecté au FCU au chapitre 3.

¹² Site web : <https://beaglebluevoyager.com/understanding-mission-planner-for-configuring-drone-for-flight/>



Figure 42: Configuration de radio commande

2.6. Étalonnage de l'accéléromètre :

Dans l'étalonnage de l'accéléromètre, nous devons orienter le contrôleur de vol en étalonnant l'accéléromètre pour connaître la position du drone. Le drone doit être déplacé dans toutes les directions, à savoir le niveau, la gauche, le nez droit vers le haut, le nœud vers le bas et l'arrière, comme indiqué par le guide vocal.



Figure 43: Configuration de l'accéléromètre

2.7. Étalonnage de la boussole et du magnétomètre :

Le magnétomètre. Nous devons supprimer toute boussole manquante et redémarrer le véhicule/FCU. Ensuite, nous pouvons voir la boussole identifiée par l'application ArduPilot. Nous étalonnons ensuite le magnétomètre et faisons tourner le véhicule dans toutes les directions jusqu'à ce que le message de réussite soit reçu. Nous devons maintenant redémarrer le FCU pour que les modifications soient enregistrées. Nous devons également nous assurer que les hélices ne sont

jamais allumées pendant tout ce processus.



Figure 44: Étalonnage de la boussole et du magnétomètre

2.8. Modes de vol :

Nous pouvons sélectionner jusqu'à six modes de vol programmables sur l'émetteur du contrôleur radio (RC) en fonction du nombre de canaux qu'il prend en charge. La communication entre l'émetteur RC se produit avec le FCU via le récepteur RC que nous avons

Chapitre IV Programmation du drone

vu au chapitre 3 ci-dessus. Les détails sur les modes de vol sont disponibles plus loin dans ce chapitre.



Figure 45: Mode de vol

2.9.Étalonnage du contrôle électronique de la vitesse (ESC) et test du moteur :

Ensuite, nous devons étalonner les ESC afin de pouvoir définir le signal PWM minimum et maximum pour les moteurs en marche. Lorsque nous cliquons sur calibrer ESC, nous devons redémarrer le drone/véhicule (FCU). Nous entendons un doux son de calibration ESC au redémarrage. Nous devons redémarrer à nouveau pour préparer le drone pour le test du moteur. Ainsi, nous effectuons un redémarrage deux fois pour préparer les ESC et le moteur pour un fonctionnement à sec. A noter que tout cela se fait sans hélices.

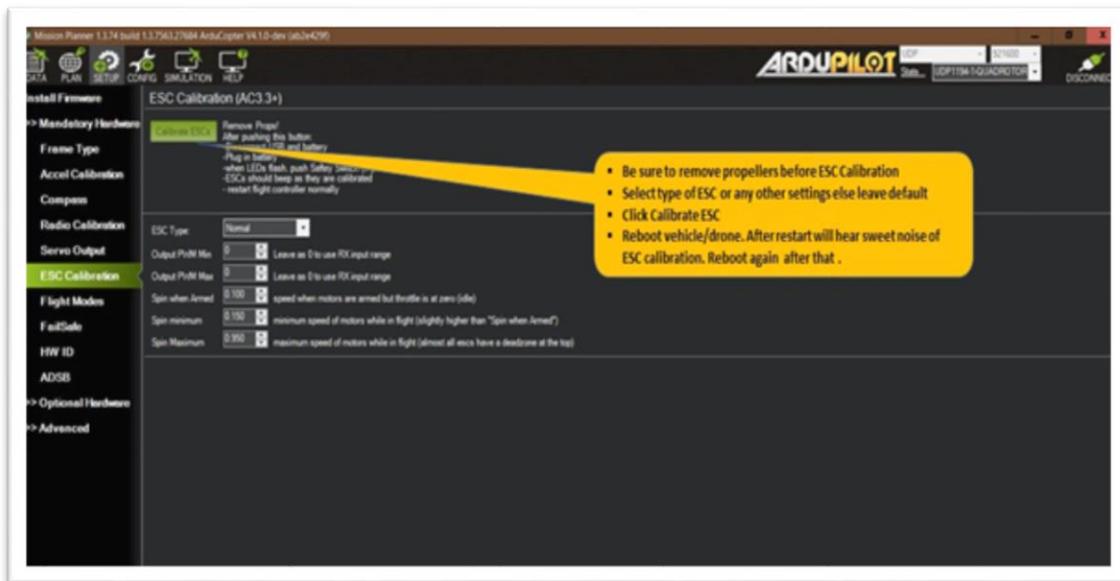


Figure 46: ESC calibration

3. OpenCV :

OpenCV (Open Source Computer Vision) est une bibliothèque open-source d'algorithmes de vision par ordinateur et d'apprentissage automatique. Elle fournit un large éventail d'outils et de fonctions permettant aux développeurs d'effectuer diverses tâches liées au traitement d'images et de vidéos, à la détection et au suivi d'objets, à la réalité augmentée, et bien plus encore.



OpenCV est écrit en C++ et prend en charge plusieurs langages de programmation, notamment Python, Java et MATLAB. Il est largement utilisé à la fois dans le milieu universitaire et industriel pour développer des applications de vision par ordinateur.

Voici quelques fonctionnalités clés d'OpenCV :

Traitement d'images et de vidéos : OpenCV vous permet de charger, de manipuler et de sauvegarder des images et des vidéos dans divers formats. Il fournit des fonctions pour redimensionner, recadrer, filtrer, fusionner et transformer des images. Vous pouvez également appliquer différents espaces colorimétriques et opérations d'histogramme.

Détection et suivi d'objets : OpenCV inclut des modèles pré-entraînés pour la détection d'objets, tels que les cascades de Haar et les modèles basés sur l'apprentissage profond tels que Single

Chapitre IV

Programmation du drone

Shot MultiBox Detector (SSD) et You Only Look Once (YOLO). Ces modèles peuvent être utilisés pour détecter et suivre des objets dans des images et des vidéos.

Détection et extraction de caractéristiques : OpenCV fournit des algorithmes pour détecter et extraire des caractéristiques à partir d'images, telles que des coins, des contours et des points d'intérêt. Ces caractéristiques peuvent être utilisées pour des tâches telles que la correspondance d'images, la reconnaissance d'objets et l'assemblage d'images.

Calibration de caméra : OpenCV offre des fonctions pour calibrer les caméras, ce qui consiste à estimer les paramètres intrinsèques et extrinsèques d'une caméra. La calibration de caméra est essentielle pour une mesure précise et une reconstruction 3D à partir d'images.

Intégration de l'apprentissage automatique : OpenCV peut être utilisé en conjonction avec des bibliothèques d'apprentissage automatique telles que TensorFlow et PyTorch. Il fournit des utilitaires pour l'entraînement et le déploiement de modèles d'apprentissage automatique pour des tâches telles que la classification d'images, la reconnaissance d'objets et la segmentation d'images.

Interface graphique utilisateur (GUI) : OpenCV dispose d'un module highgui qui vous permet de créer des interfaces graphiques utilisateur pour vos applications de vision par ordinateur. Il fournit des fonctions pour afficher des images, créer des trackbars, gérer des événements de souris, et plus encore.

Traitement parallèle : OpenCV prend en charge le multi-threading et l'accélération GPU pour accélérer l'exécution des tâches intensives en calcul. Cela vous permet de tirer parti des processeurs multi-cœurs et des unités de traitement graphique (GPU) pour des performances plus rapides.

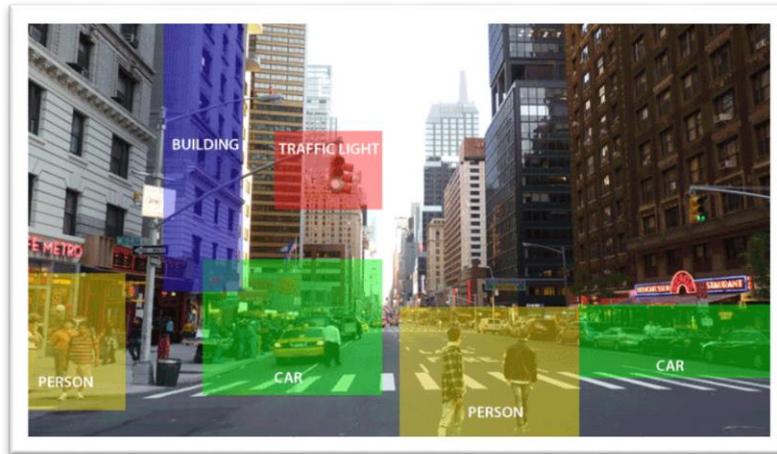


Figure 47 : coco bibliothèque

4. La détection de feu :

La détection de feu par HSV (Hue-Saturation-Value) est une méthode utilisée pour détecter la présence de flammes dans une image ou une vidéo en se basant sur les caractéristiques de couleur de la flamme.

La détection de feu par HSV consiste en plusieurs étapes :

- Capture de l'image ou de la vidéo : Une image ou une séquence vidéo est capturée à l'aide d'une caméra ou d'une source vidéo.
- Conversion en espace de couleur HSV : L'image ou la vidéo capturée est convertie de l'espace de couleur BGR (Blue-Green-Red) à l'espace de couleur HSV. La conversion en HSV permet de séparer la teinte, la saturation et la valeur de chaque pixel.
- Définition de la plage de couleur du feu : Une plage de couleurs est définie dans l'espace de couleur HSV pour représenter les tons de couleur associés au feu. Cette plage de couleurs est généralement choisie en fonction des caractéristiques de couleur typiques des flammes.
- Application d'un masque : Un masque est créé en utilisant la plage de couleurs définie. Le masque permet de filtrer les pixels qui se situent dans la plage de couleurs du feu.
- Opérations morphologiques : Des opérations morphologiques telles que l'ouverture ou la fermeture sont appliquées au masque pour éliminer les petits artefacts indésirables et lisser les contours des régions détectées.
- Détection des contours : Les contours des régions d'intérêt sont extraits à partir du masque après les opérations morphologiques. Les contours peuvent être trouvés à l'aide de l'algorithme de détection des contours, comme celui fourni par la fonction `cv2.findContours()` dans OpenCV.

Chapitre IV

Programmation du drone

- Analyse des contours : Les contours détectés peuvent être analysés pour effectuer des actions supplémentaires, comme le traçage des contours sur l'image d'origine ou la détection de la position du feu en calculant le centre de gravité du contour.
- Affichage des résultats : Les résultats de la détection, tels que l'image d'origine avec les contours détectés ou les positions des feux, peuvent être affichés à des fins de visualisation ou de traitement ultérieur.
- La détection de feu par HSV est une méthode couramment utilisée pour la détection initiale de flammes dans les systèmes de surveillance ou de détection d'incendie. Cependant, il convient de noter que cette méthode peut avoir des limitations en fonction des conditions d'éclairage, des variations de couleur du feu et d'autres facteurs environnementaux. Des techniques supplémentaires, telles que l'utilisation de capteurs thermiques ou d'algorithmes avancés de vision par ordinateur, peuvent être nécessaires pour améliorer la précision et la fiabilité de la détection des feux dans des scénarios réels.¹³

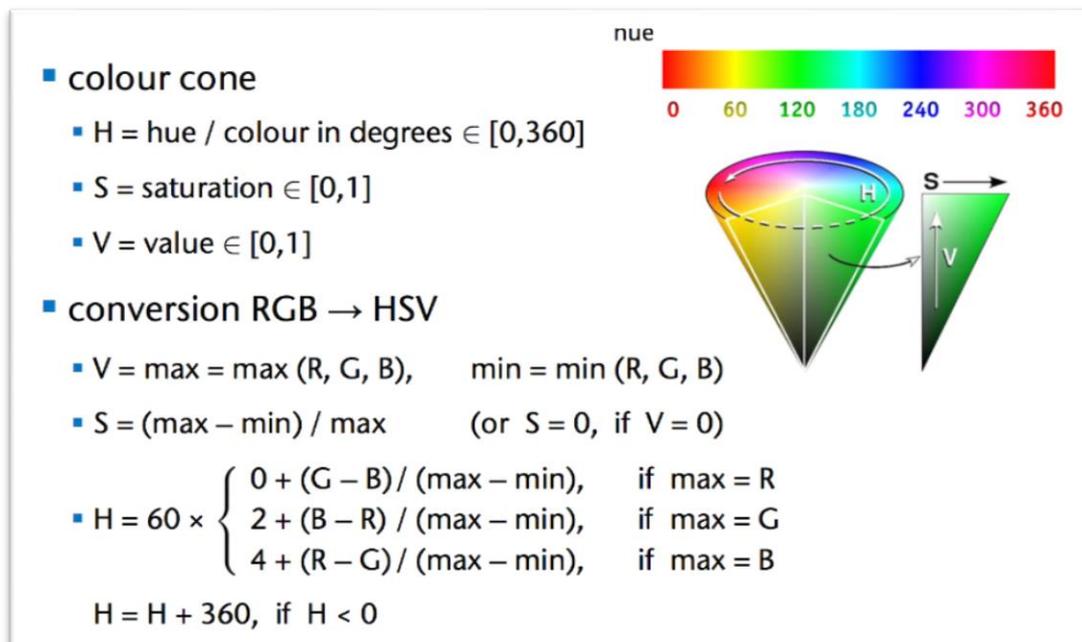
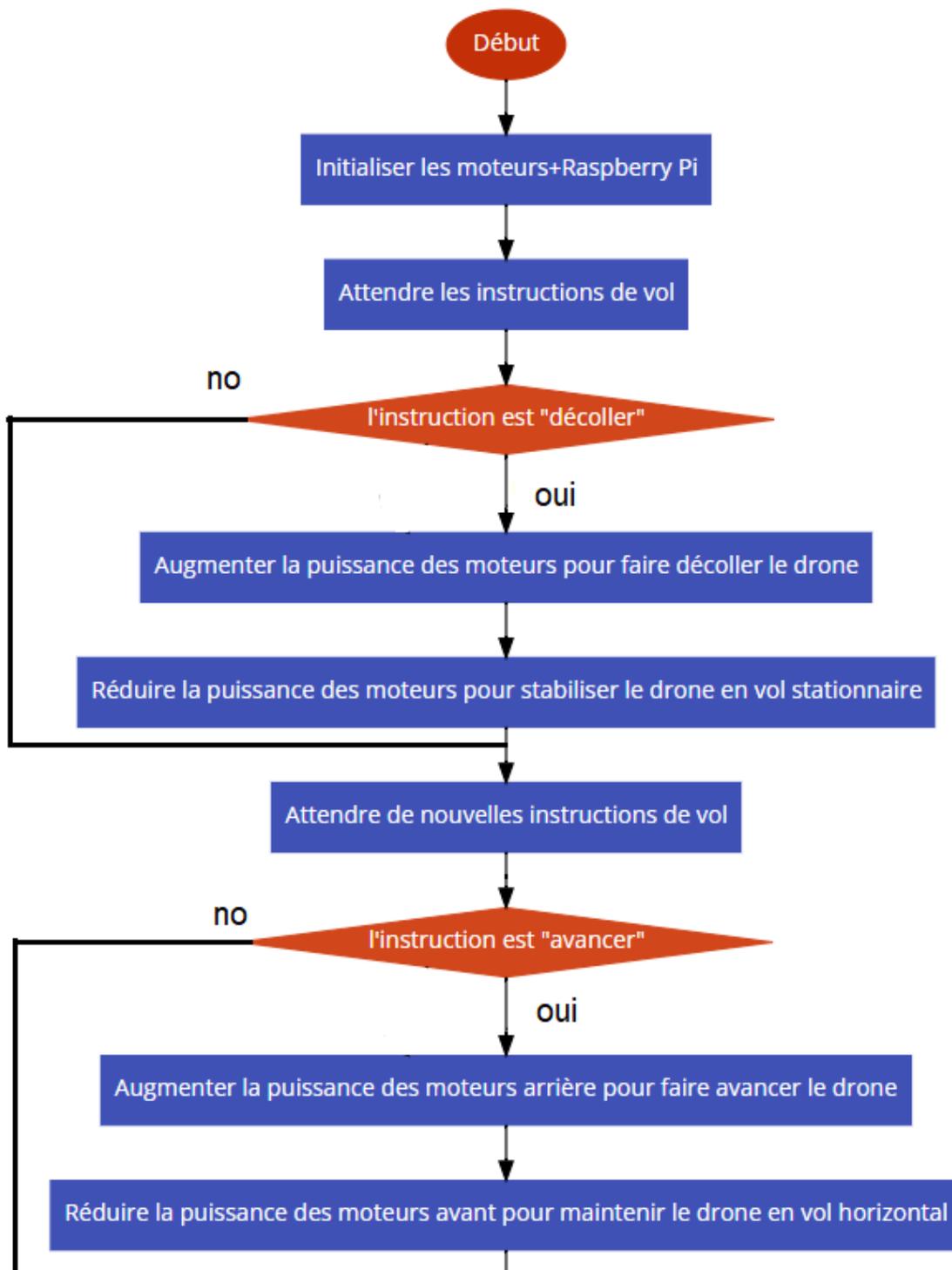
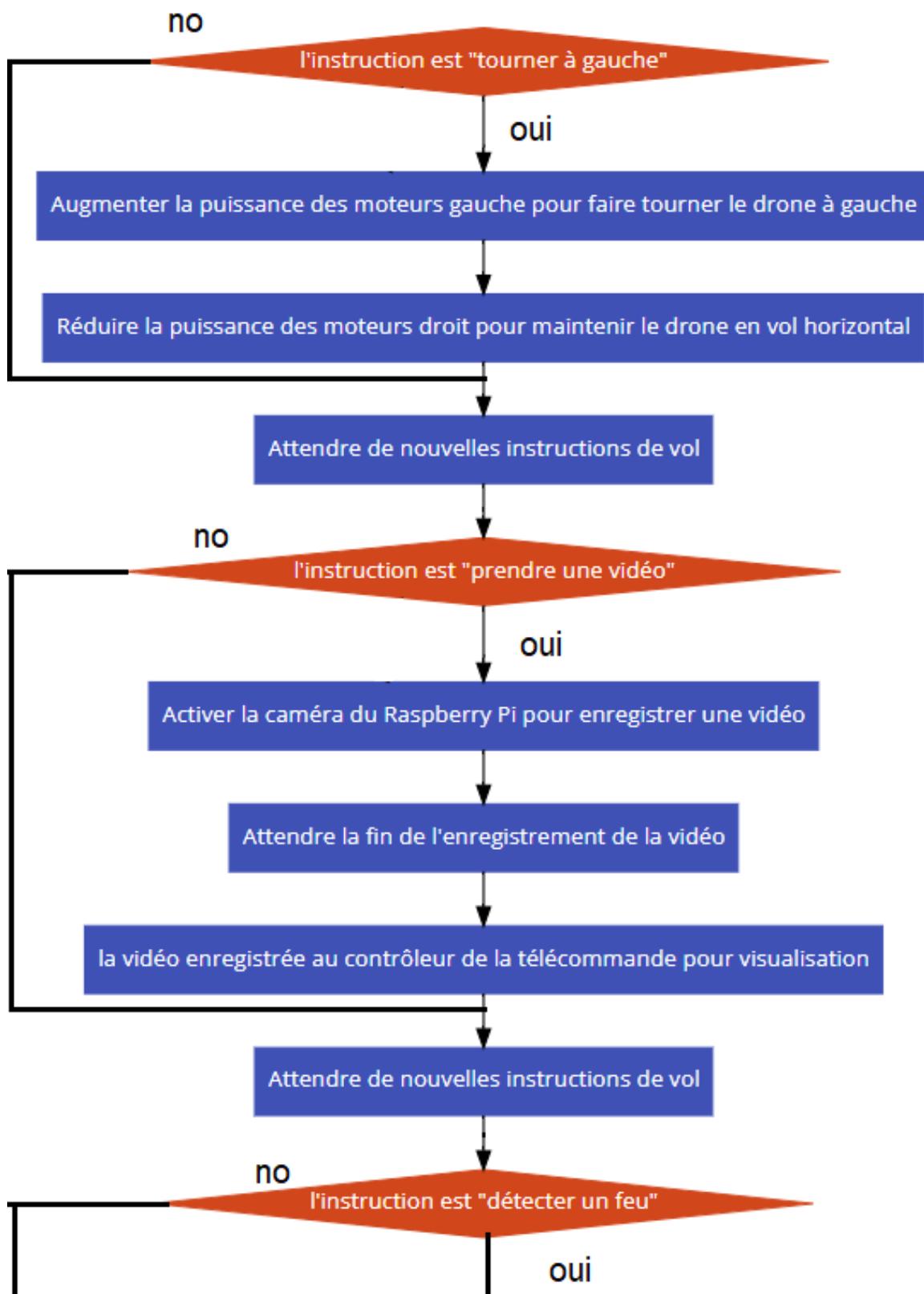


Figure 48: mode HSV

¹³ <https://github.com/gunarakulangunaretnam/fire-detection-system-in-python-opencv>

5. Des organigrammes sont utilisées pour la réalisation de ce mini projet :





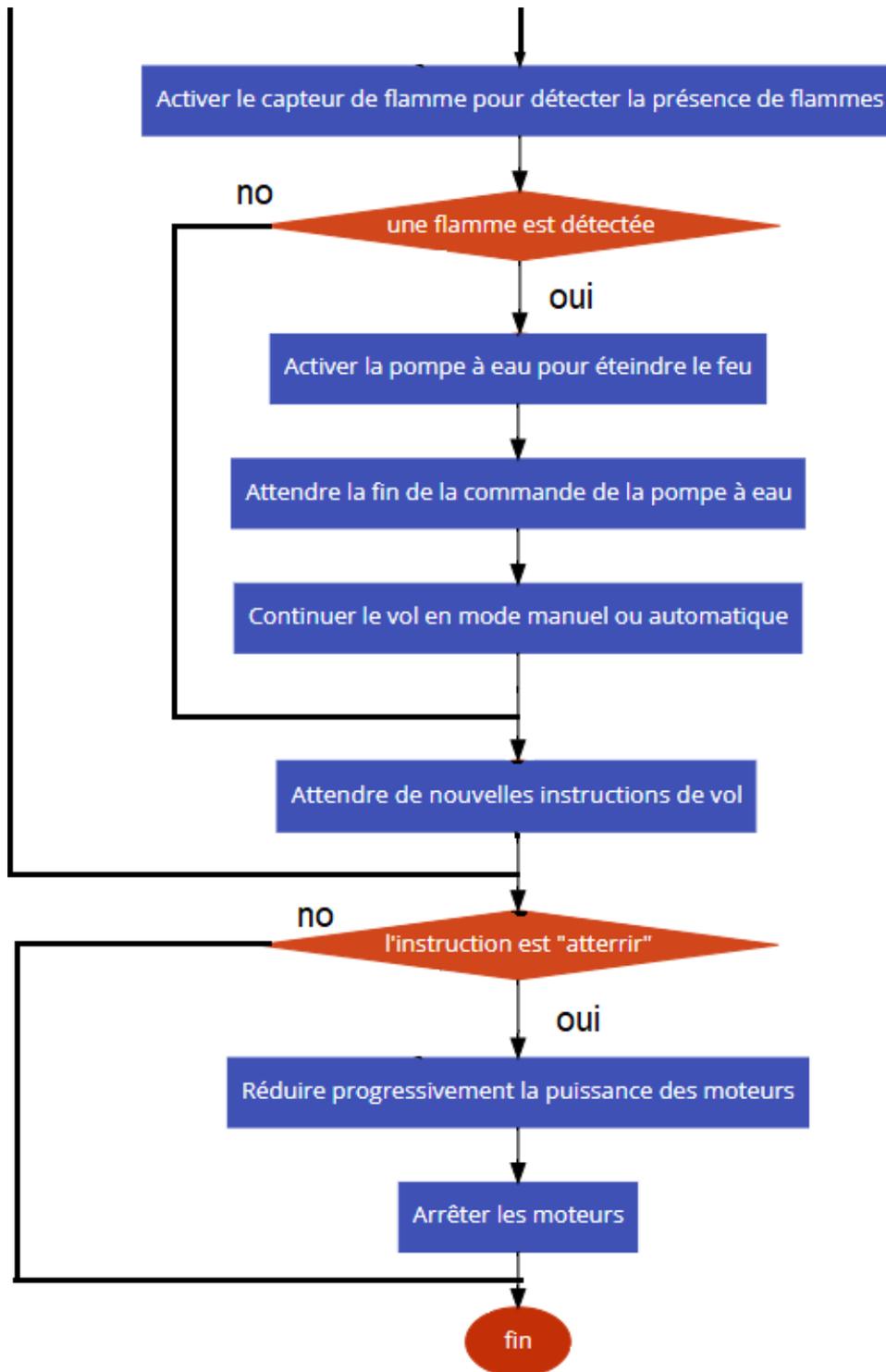
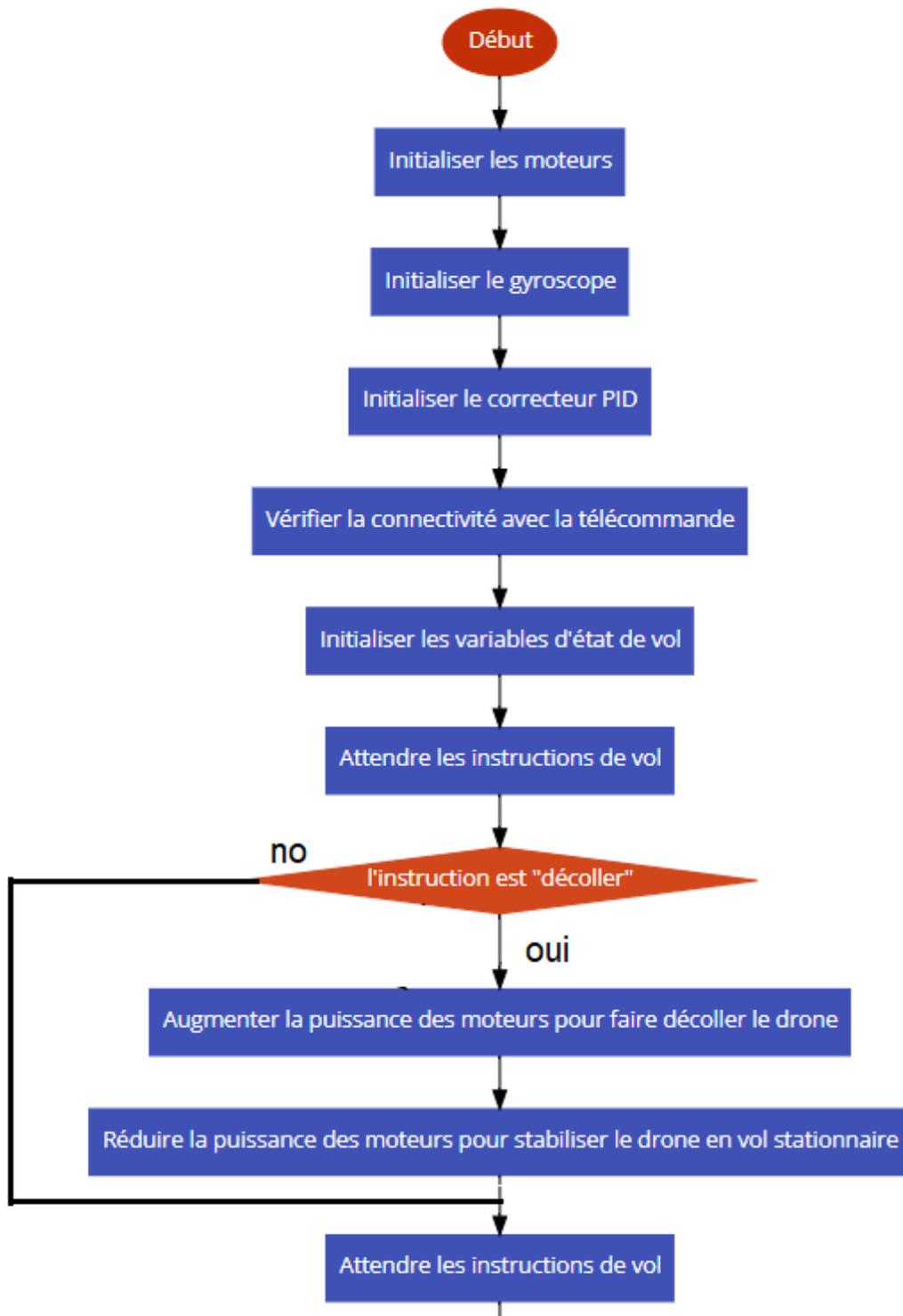
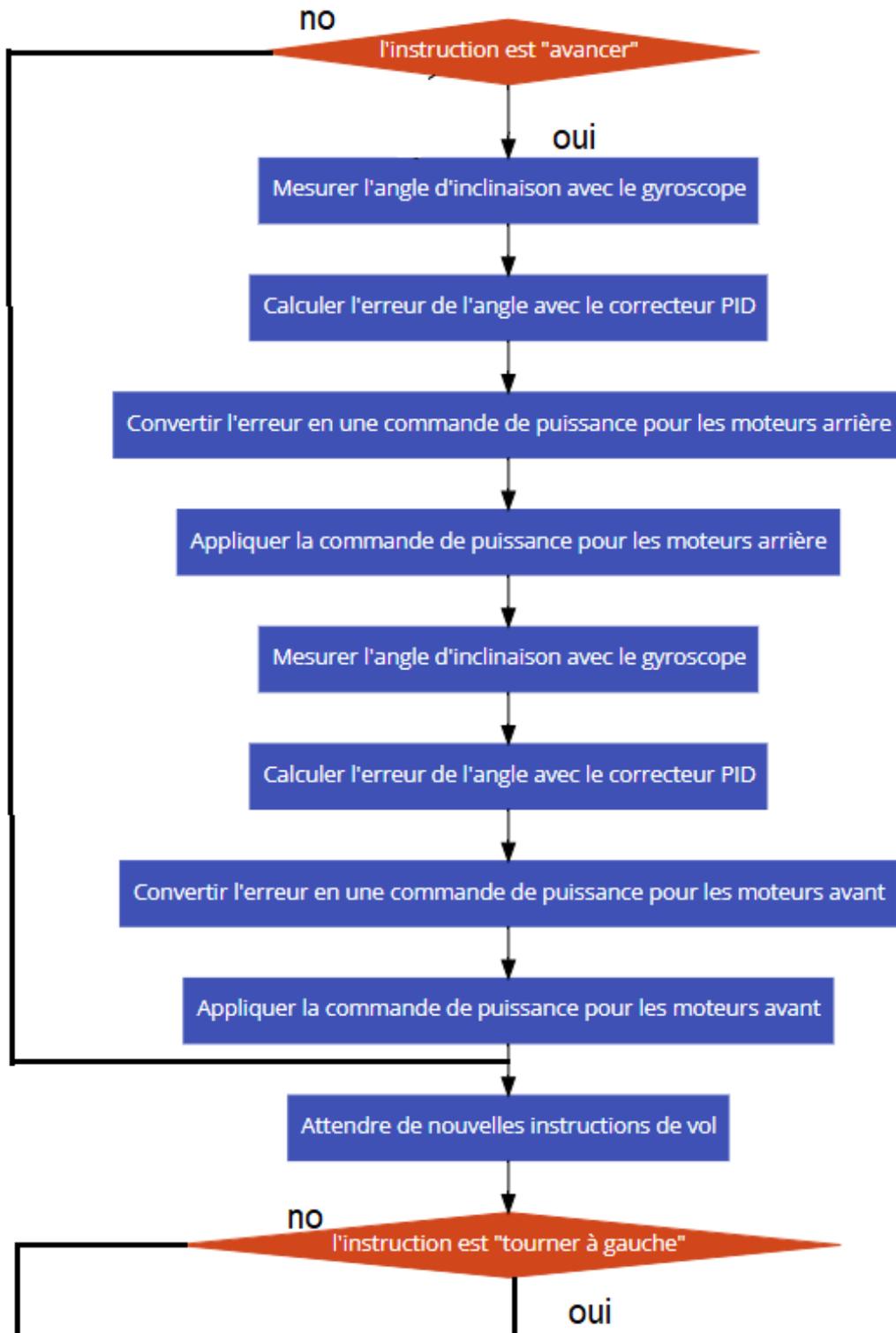


Figure 49: un exemple d'organigramme pour commander un drone quadcopter équipé d'un Ardupilot et d'un Raspberry Pi pour l'acquisition vidéo et la commande d'une pompe à eau pour détecter et éteindre des feux





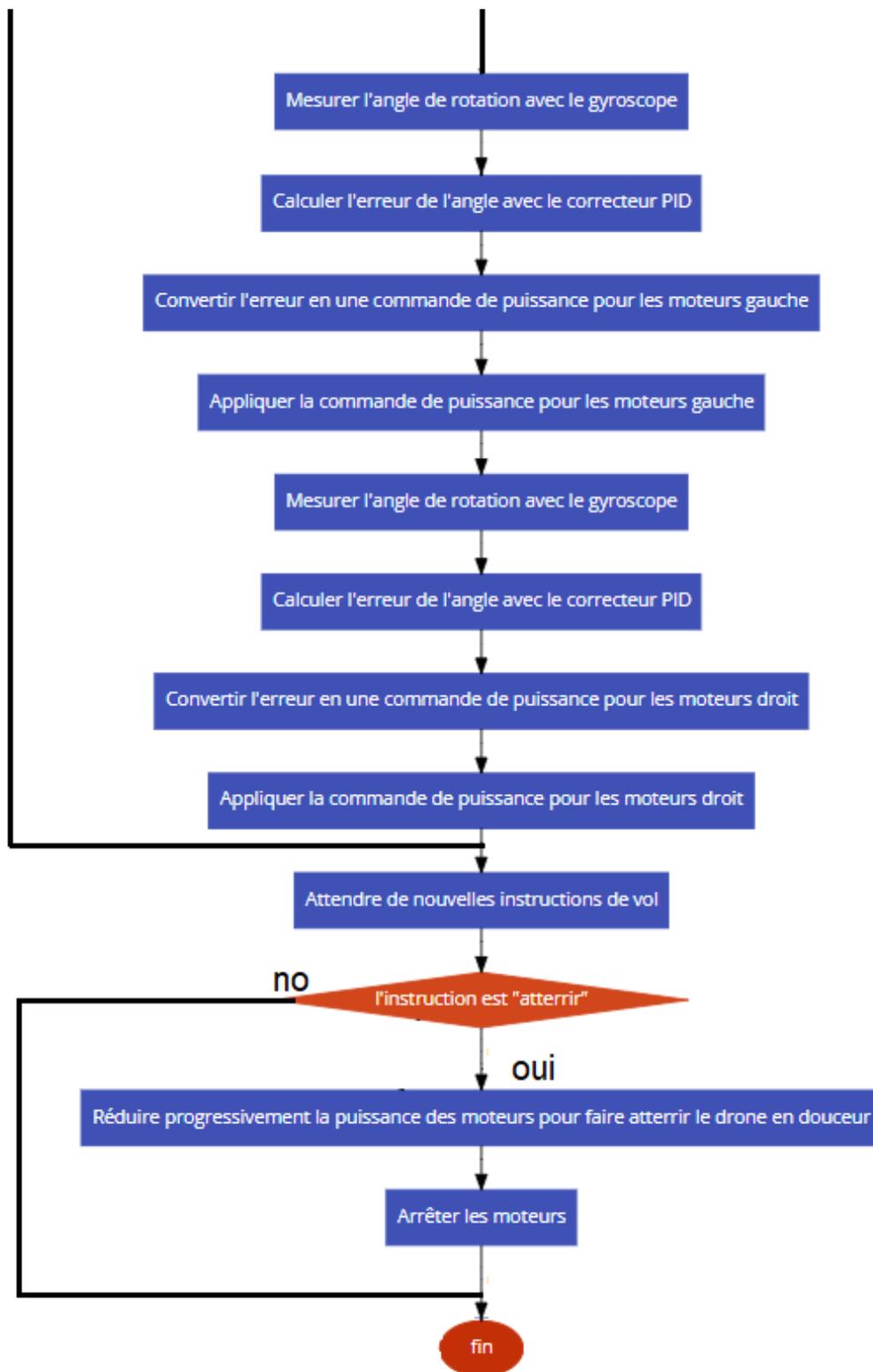


Figure 50: un exemple d'organigramme complet pour commander un drone quadcopter avec l'utilisation du correcteur PID avec le gyroscope

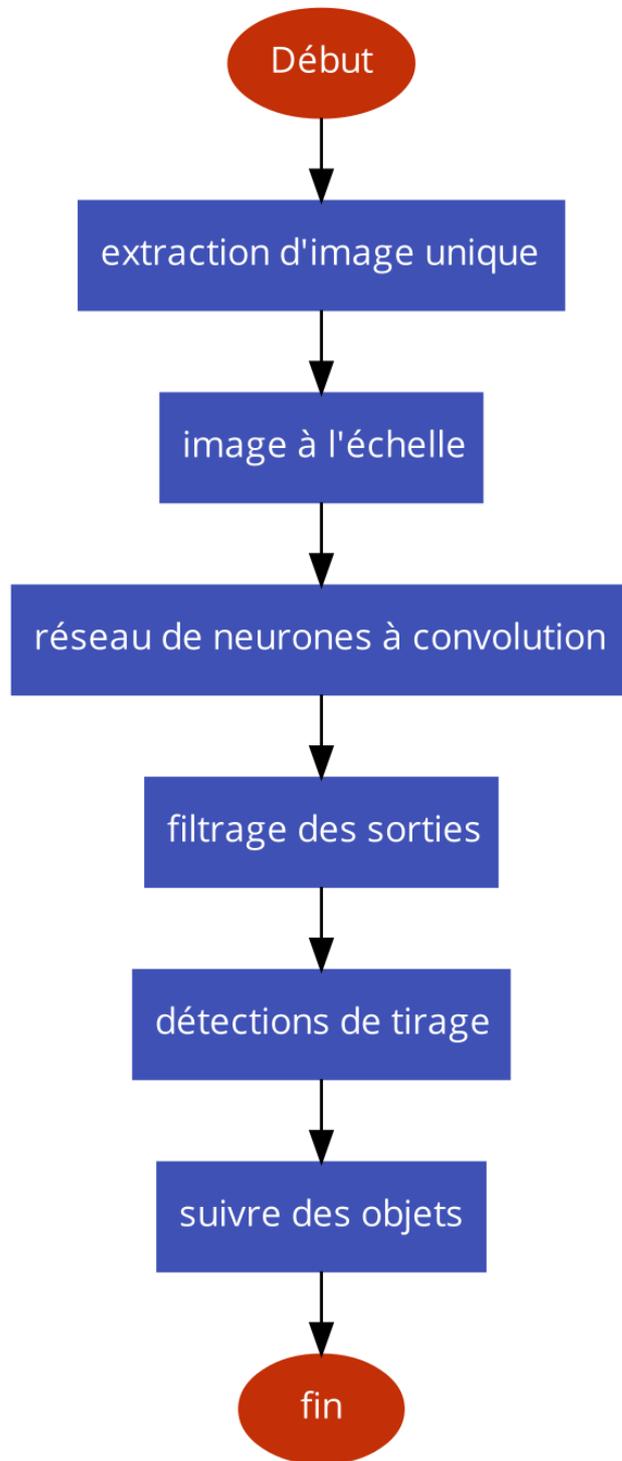


Figure 51: Object détections

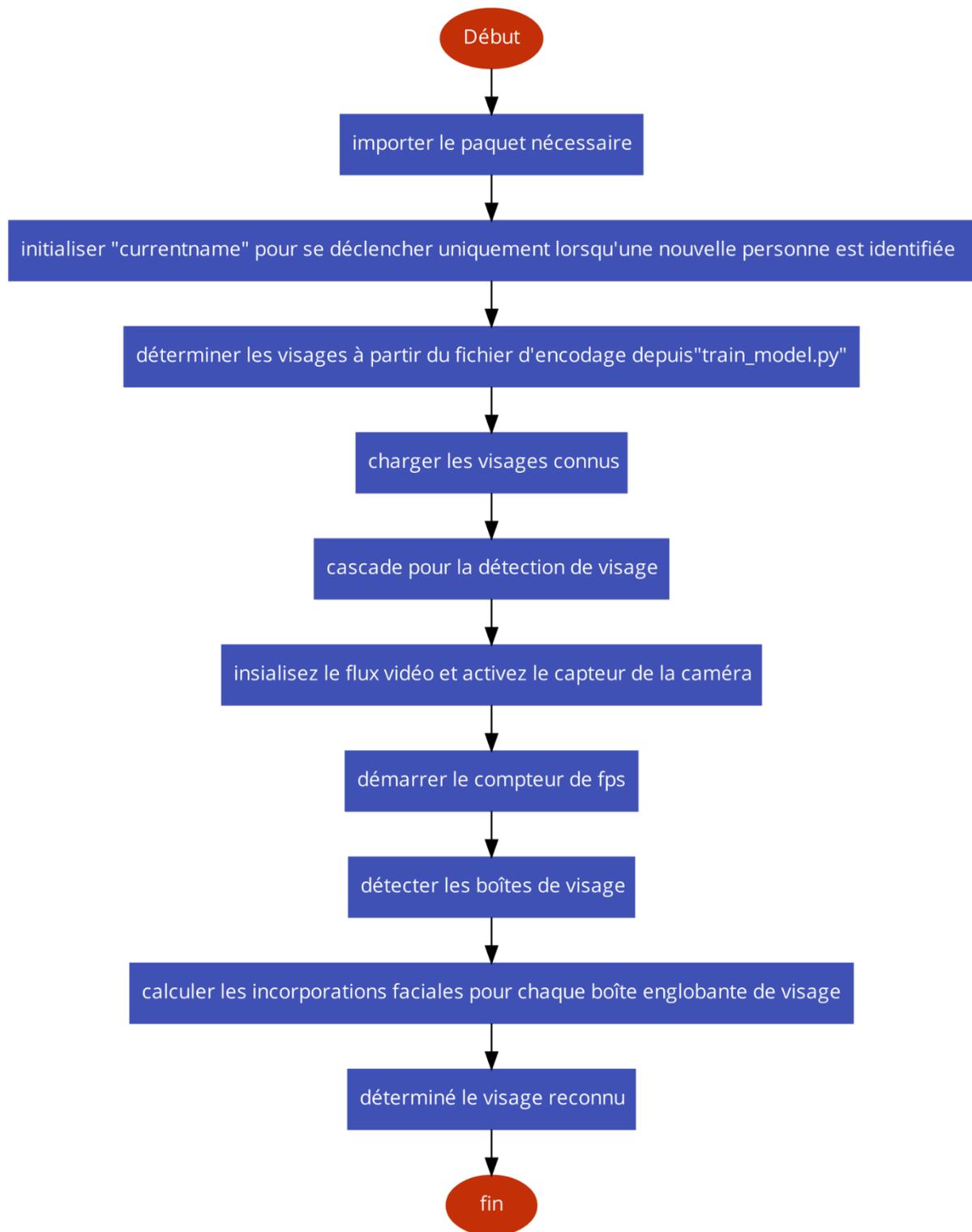


Figure 52: faciale détection

6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons parler comment programmer le drone quadricoptère par arducopter et comment programmer le raspberry pi pour la detection d'objet et faciale par python-opencv , Nous, avec ArduCopter, offrons une grande flexibilité en termes de programmation et de personnalisation. Nous pouvons développer des missions spécifiques en utilisant le langage de script MAVLink, créer des modes de vol personnalisés et ajuster les paramètres pour répondre à nos besoins spécifiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans notre projet de fin d'études, nous nous sommes intéressés à l'étude et la réalisation d'un quadrirotor. Ce choix n'a pas été fortuit, mais bien au contraire il est basé sur des objectifs bien tracés. Nous avons souhaité que ce travail soit d'abord un complément à notre formation. Ensuite, qu'il soit aussi un projet multidisciplinaire afin de nous permettre de comprendre et de maîtriser les jonctions possibles entre notre spécialité avec d'autres spécialités techniques différentes. A cet effet, les systèmes quadrirotors ont besoin de beaucoup de connaissances dans des domaines très variés tels que la mécanique, l'aéronautique, l'informatique, l'automatique, l'électronique et aussi les télécommunications. Pour cette raison notre mémoire est relativement gros avec un nombre de pages assez élevé. Le premier chapitre, que nous avons voulu le plus succinct possible, présente des définitions et des généralités sur les drones. Le second chapitre est dédié aux principes de fonctionnement des drones et la présentation des différents mouvements possibles. Le troisième chapitre décrit le schéma fonctionnel du projet et les différents composants et cartes électroniques utilisées. Le quatrième chapitre est consacré à la description de la partie programmation.

Bibliographie

Bibliographie

01- Site web : <https://www.dji.com>

02- Site web : <https://tpedronesss2019.webnode.fr>

03- Mémoire de fin d'étude soutenu publiquement à OUM EL BOUAGUI par Ayeb Fakhreddine Conception et implémentation d'une commande PID numérique d'un moteur à courant continu

04- Site web : <https://www.jsumo.com/f450-frame-kit-not-assembled>

05- Site web : <http://www.moteurindustrie.com/brushless/technique.html>

06- site web : <https://dronesinpakistan.com/product/980kv-emax-xa2212-brushless-motor-for-rc-plane-and-drone>

07- Site web : <https://altdrone.ch/2015/09/27/moteurs-esc-variateurs-helices-comment-choisir-le-bon-ensemble>

08- Site web : <https://powertech-dz.net>

09- Site web : <https://blog.patrickmodelisme.com>

10- Site web : <https://www.radiolink.com>

11- Site web : <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b>

12- Site web : <https://beaglebluevoyager.com/understanding-mission-planner-for-configuring-drone-for-flight>

Les annexes

Table des matières

I-	Introduction générale	1
II-	Chapitre 1 : le problème et la solution	2
	1. Introduction :.....	2
	2. Le problème générale :.....	2
	3. La solution de ce problème :	2
	4. L'équipe de ce projet :.....	3
	5. Les objectifs du projet :.....	4
	6. Le délai de réalisation de ce projet :.....	5
	7. Conclusion :.....	5
III-	Chapitre 2 : innovation de ce projet	6
	1. Introduction :.....	6
	2. aspects innovants du projet :	6
	3. Domaines d'innovation dans ce projet :.....	7
	4. Conclusion :.....	8
IV-	Chapitre 3 : Etude de marché :	9
	1. Introduction :.....	9
	2. Vue du segment de marché :	9
	3. L'intensité de la concurrence :	10
	4. Stratégie de marketing :.....	11
	5. Conclusion.....	12
V-	Chapitre 4 : la main d'œuvre et les principaux partenaires :	13
	1. Introduction	13
	2. la main d'œuvre :	13
	3. Les principaux partenaires :	14
	4. Conclusion.....	15
VI-	Chapitre 5 : Coûts et besoins du projet :	16
	1. Introduction	16
	2. Coûts et besoins du projet :	16
	3. Les coûts financiers du projet :	17
	4. Conclusion.....	17
VII-	Business model canvas :.....	18
VIII-	Le prototype :.....	19
IX-	Conclusion générale	20

I- Introduction générale

Les start-ups jouent un rôle de plus en plus important dans l'économie mondiale en tant qu'agents de changement, d'innovation et de perturbation. Une start-up est une entreprise jeune et dynamique qui cherche à résoudre un problème spécifique dans la société en utilisant des solutions novatrices, souvent basées sur la technologie.

L'une des caractéristiques clés d'une start-up est sa capacité à se développer rapidement, souvent en adoptant des modèles commerciaux évolutifs et en exploitant les avancées technologiques. Les entrepreneurs et les fondateurs de start-ups sont souvent animés par une passion pour leur idée et une volonté de créer un impact positif dans le monde.

Les start-ups se distinguent des entreprises traditionnelles par leur approche agile et leur aptitude à prendre des risques. Elles sont souvent créées dans des secteurs émergents ou non exploités, et elles cherchent à perturber les marchés établis grâce à des innovations radicales ou des modèles économiques novateurs.

Le monde des start-ups est caractérisé par un environnement dynamique et compétitif. Les entrepreneurs cherchent souvent à attirer l'attention des investisseurs et des bailleurs de fonds pour financer leur croissance. Les capitaux-risqueurs et les investisseurs providentiels sont souvent attirés par le potentiel de rendement élevé offert par les start-ups, bien que cela s'accompagne également d'un niveau de risque plus élevé.

De nombreuses start-ups ont connu un succès remarquable, révolutionnant des industries entières et devenant des géants de l'économie mondiale. Des entreprises telles que Google, Facebook, Amazon et Uber ont toutes commencé comme de modestes start-ups avant de devenir des acteurs majeurs dans leurs domaines respectifs.

Les start-ups sont des acteurs importants dans l'économie mondiale, apportant de nouvelles idées, de l'innovation et un potentiel de perturbation dans différents secteurs. Elles incarnent l'esprit entrepreneurial et jouent un rôle crucial dans la création d'emplois, la stimulation de l'innovation et la résolution de problèmes de société grâce à des solutions novatrices.

II- Chapitre 1 : le problème et la solution

1. Introduction :

Dans ce chapitre nous avons parlé sur Le problème rencontré par l'agriculteur Et la solution que ce projet apportera

2. Le problème générale :



Le problème des incendies dans les terres agricoles est un problème grave et destructeur qui affecte l'agriculture, l'environnement et l'économie de la région. Les incendies dans les terres agricoles peuvent survenir en raison de divers facteurs, notamment humains et naturels.

Une des causes des incendies agricoles est d'origine humaine, ce qui peut inclure l'incendie intentionnel, la négligence lors de la manipulation du feu à proximité des terres agricoles, ou le jet de cigarettes de manière irresponsable. Les incendies peuvent également éclater en raison des activités agricoles telles que la combustion des résidus végétaux ou l'utilisation d'équipements agricoles générant des étincelles.

Les facteurs naturels sont également une cause importante des incendies dans les terres agricoles. En été, les températures peuvent augmenter, ce qui entraîne le dessèchement des cultures agricoles, les rendant facilement inflammables. Les conditions météorologiques telles que les vents forts peuvent également contribuer à la propagation rapide des incendies et être des facteurs d'ignition efficaces.

Les incendies agricoles entraînent la destruction des cultures, la perte de bétail et de la faune, la pollution des sols et de l'eau, ainsi que des dommages aux infrastructures agricoles. Ils causent également des pertes économiques considérables pour les agriculteurs et les communautés touchées.

3. La solution de ce problème :



La réalisation de drones pour détecter les incendies dans les terres agricoles est une solution efficace. Les drones peuvent aider à surveiller et à repérer rapidement les incendies, ce qui permet aux autorités et aux équipes de lutte contre les incendies de réagir rapidement pour combattre le feu et en limiter la propagation.

Les drones équipés des bons capteurs ont la capacité de détecter la chaleur et la fumée, ce qui leur permet de localiser précisément l'incendie et de surveiller son expansion. Certains drones sont également équipés de systèmes d'alerte automatique, qui envoient une notification immédiate aux équipes de lutte contre les incendies dès qu'un incendie est détecté, leur permettant d'intervenir rapidement.

De plus, les drones peuvent être utilisés pour évaluer la taille de l'incendie et son étendue en prenant des photos aériennes ou des vidéos de la zone affectée. Ces informations peuvent être utilisées dans les opérations d'évaluation et d'analyse pour déterminer les impacts environnementaux et économiques de l'incendie, ainsi que pour aider à la planification des efforts de compensation et de réhabilitation de la zone touchée.



Figure 1 :drone avec une camera

4. L'équipe de ce projet :



- **Sellaoui Dhiya Eddine : Master 2 – Electronique**

5. Les objectifs du projet :

Le projet de création d'un drone de détection des incendies a pour objectifs principaux :

Détection précoce des incendies : L'objectif de ce drone sans pilote est de surveiller et de détecter les incendies dans les terres agricoles à un stade précoce, avant qu'ils ne se propagent considérablement. Cela permet une intervention rapide des autorités compétentes pour éteindre les incendies et en limiter la propagation.

Surveillance et suivi des incendies : Le drone est équipé de systèmes de détection avancés lui permettant de détecter avec précision la chaleur et la fumée émanant des incendies. Il peut également estimer la taille et l'étendue des incendies et fournir des images photographiques et des vidéos de la zone touchée afin d'analyser les dommages et évaluer les impacts environnementaux et économiques.

Transmission en temps réel des données : Le drone est équipé de systèmes de communication sans fil permettant de transmettre en temps réel les données et les informations relatives aux incendies vers un centre de contrôle. Cela permet aux équipes concernées d'analyser les données et de prendre rapidement des décisions éclairées pour faire face aux incendies.

Précision de la localisation : Les drones peuvent utiliser des technologies de navigation avancées telles que le système de positionnement global (GPS) pour localiser avec précision les incendies. Cela aide à cibler les ressources et les interventions de manière efficace et précise.

Sécurité et réduction des risques : En utilisant des drones pour détecter les incendies, on peut réduire les risques liés à l'envoi d'équipes humaines dans des zones potentiellement dangereuses. Les drones peuvent accéder à des zones difficiles d'accès ou présentant des risques élevés, garantissant ainsi la sécurité des équipes d'intervention.

Le développement d'un drone de détection des incendies offre un moyen efficace et rapide de lutter contre les incendies dans les terres agricoles, contribuant ainsi à la protection de l'environnement, des cultures et des ressources économiques.

6. **Le délai de réalisation de ce projet :**



La durée dont nous avons besoin pour mener à bien ce projet est estimée à deux ans (2 ans), car il nécessite une expertise et des compétences élevées dans le domaine de la technologie et de l'agriculture, ainsi que des exigences financières.

7. **Conclusion :**

Dans cet axe, nous avons parlé du problème auquel l'agriculteur est confronté dans son champ et de l'emploi de drones comme solution pour augmenter la productivité, et nous discutons de nombreux détails dans les prochains axes sur l'étude de ce projet

7. III- Chapitre 2 : innovation de ce projet

1. Introduction :

Dans cette section, nous parlerons des aspects innovants de ce projet et de ses avantages effectifs dans le domaine agricole

2. aspects innovants du projet :



Le projet de création d'un drone de détection des incendies présente plusieurs aspects innovants :

Utilisation de technologies avancées : Le projet exploite les dernières avancées technologiques dans les domaines des drones, des capteurs, de la communication sans fil et de la navigation. Ces technologies avancées permettent une détection précise des incendies, une transmission rapide des données et une localisation précise.

Détection précoce des incendies : L'un des aspects les plus innovants de ce projet est la capacité du drone à détecter les incendies à un stade précoce. Grâce à des capteurs sensibles à la chaleur et à la fumée, le drone peut repérer les signes d'un incendie naissant, ce qui permet une intervention rapide avant que le feu ne se propage.

Intégration de l'intelligence artificielle : Le projet peut également intégrer des algorithmes d'intelligence artificielle pour améliorer les capacités de détection et d'analyse des incendies. L'IA peut aider à distinguer les incendies des autres sources de chaleur, à prédire la trajectoire de propagation du feu et à fournir des recommandations pour une réponse appropriée.

Système de communication en temps réel : Le drone est équipé d'un système de communication en temps réel qui permet la transmission rapide des données aux équipes d'intervention. Cela permet une coordination efficace et une réponse immédiate pour éteindre les incendies, minimisant ainsi les dommages et les pertes.

Optimisation des ressources : Grâce à une détection précise des incendies et à une localisation précise, le projet permet une utilisation optimale des ressources d'intervention. Les équipes d'incendie peuvent être dirigées vers les zones spécifiques où l'incendie est détecté, ce qui réduit les délais d'intervention et maximise l'efficacité des efforts de lutte contre les incendies.

3. Domaines d'innovation dans ce projet :



Le projet de création d'un drone de détection des incendies englobe plusieurs domaines d'innovation, notamment :

Technologie des drones : Le développement et l'amélioration des drones permettent d'explorer de nouvelles fonctionnalités et capacités pour la détection des incendies. Cela comprend la conception de drones spécifiquement adaptés à la détection des incendies, l'amélioration de leur autonomie, de leur stabilité et de leur agilité, ainsi que l'intégration de capteurs spécialisés.

Capteurs avancés : Les avancées dans les technologies de capteurs jouent un rôle crucial dans la détection des incendies. L'utilisation de capteurs sophistiqués, tels que les capteurs thermiques et les capteurs de fumée, permet une détection précise et précoce des signes d'incendie, contribuant ainsi à une réponse rapide et efficace.

Intelligence artificielle (IA) : L'intégration de l'intelligence artificielle dans le projet permet d'améliorer les capacités de détection et d'analyse des incendies. L'IA peut être utilisée pour développer des algorithmes de traitement d'image et de reconnaissance de motifs, ce qui permet de distinguer les incendies des autres sources de chaleur et d'évaluer leur gravité.

Communication en temps réel : Les systèmes de communication embarqués dans le drone permettent une transmission rapide des données et des informations aux équipes d'intervention. Cette communication en temps réel favorise une coordination efficace et une prise de décision rapide pour combattre les incendies de manière optimale.

Analyse de données et prise de décision : Le projet peut impliquer l'utilisation de techniques d'analyse de données avancées pour traiter les informations collectées par le drone. Cela comprend l'analyse des images thermiques, la cartographie des zones touchées, la prédiction de la propagation du feu, ainsi que la génération de rapports et de recommandations pour les équipes d'intervention.

Optimisation des ressources : L'innovation se trouve également dans l'optimisation des ressources disponibles pour lutter contre les incendies. Cela comprend la planification efficace des itinéraires de vol du drone, l'utilisation stratégique des équipes d'intervention en fonction des données fournies par le drone, ainsi que l'allocation efficace des ressources matérielles et humaines pour une réponse rapide et ciblée.

4. Conclusion :

Dans cette section, nous avons vu les aspects et les domaines innovants de ce projet, tandis que dans la section suivante, nous discuterons de l'étude de marché

IV- Chapitre 3 : Etude de marché :

1. Introduction :

Le secteur du marché des drones agricoles connaît une croissance remarquable dans les dernières années. L'utilisation des drones dans l'agriculture contribue à améliorer la productivité, réduire les coûts et augmenter l'efficacité.

2. Vue du segment de marché :



Le segment de marché de ce projet se situe dans le domaine de la lutte contre les incendies dans les terres agricoles. Il vise spécifiquement les agriculteurs, les exploitants agricoles, les propriétaires terriens et les autorités compétentes chargées de la gestion des incendies.

Les agriculteurs et les exploitants agricoles sont les principaux acteurs du segment de marché, car ils ont un intérêt direct dans la protection de leurs terres et de leurs cultures contre les incendies. Ils peuvent utiliser les drones de détection des incendies pour surveiller leurs terres, détecter rapidement les incendies naissants et prendre des mesures préventives pour minimiser les dommages.

Les propriétaires terriens qui louent leurs terres agricoles à des exploitants peuvent également être intéressés par ce projet, car il leur permet de protéger leur investissement et de garantir la productivité des terres louées.

Les autorités compétentes dans la gestion des incendies, telles que les services de lutte contre les incendies, les agences gouvernementales et les organismes de protection de l'environnement, constituent également un segment de marché clé. Ils peuvent utiliser les drones de détection des incendies pour améliorer leur capacité à détecter les incendies rapidement, coordonner les interventions et prendre des décisions éclairées basées sur les données fournies par les drones.

Il est important de noter que ce segment de marché peut varier en fonction de la région géographique, car les problématiques liées aux incendies dans les terres agricoles peuvent différer d'un endroit à un autre.

3. L'intensité de la concurrence :

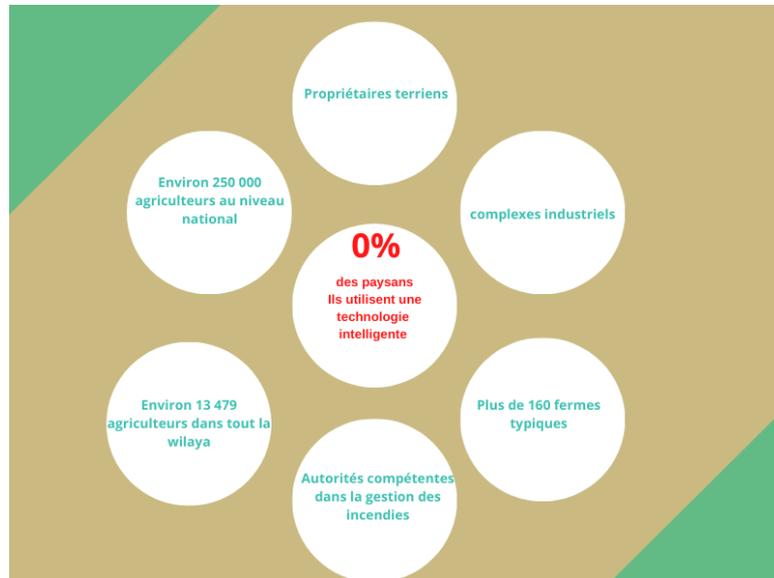


Figure 2 : ciblage

L'intensité de la concurrence pour ce projet peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la disponibilité d'autres solutions de détection des incendies, le niveau d'adoption des drones dans le secteur agricole et les réglementations en vigueur.

Dans certains marchés, il est possible que d'autres solutions de détection des incendies existent déjà, telles que des systèmes de surveillance terrestres, des tours de guet ou des patrouilles aériennes. Dans de tels cas, le projet de drone de détection des incendies pourrait faire face à une concurrence directe avec ces solutions établies.

Cependant, si l'utilisation des drones dans le secteur agricole pour la détection des incendies est encore limitée, le projet pourrait bénéficier d'un avantage concurrentiel en tant que solution innovante et technologiquement avancée.

Cependant, en Algérie, il n'y a toujours pas de concurrence dans ce domaine, que ce soit dans la production de drones ou dans les institutions émergentes qui utilisent ce type d'avions pour le service en échange d'argent.

4. Stratégie de marketing :



Nous élaborons une stratégie de marketing pour notre projet de drone de détection des incendies dans les terres agricoles.

Nous segmentons le marché pour identifier les segments clés tels que les agriculteurs, les exploitants agricoles, les propriétaires terriens et les autorités compétentes dans la gestion des incendies. Nous comprenons leurs besoins spécifiques, leurs défis et leurs motivations afin d'adapter notre message et nos offres en conséquence.

Nous développons un positionnement clair et différencié pour notre projet. Nous mettons en avant les avantages compétitifs tels que la détection précoce des incendies, la précision de la localisation, l'utilisation de technologies avancées et l'optimisation des ressources. Nous communiquons comment notre solution résout les problèmes actuels et offre une valeur ajoutée.

Nous utilisons une combinaison de canaux de communication adaptés à notre public cible. Cela comprend des campagnes publicitaires ciblées en ligne et hors ligne, des publications dans des revues agricoles spécialisées, des partenariats avec des organisations agricoles et notre participation à des salons professionnels. Nous faisons valoir les avantages spécifiques de notre solution et mettons en évidence des études de cas ou des témoignages de clients satisfaits.

Nous identifions des partenaires potentiels tels que des associations agricoles, des coopératives ou des fournisseurs de services agricoles. Nous collaborons avec ces partenaires pour étendre notre portée, accéder à de nouveaux marchés et établir des relations de confiance avec les acteurs clés de l'industrie agricole.

Nous organisons des sessions de formation et des démonstrations pour sensibiliser notre public cible aux avantages et à l'utilisation de notre drone de détection des incendies. Nous montrons comment il fonctionne, comment il peut être intégré dans les pratiques agricoles existantes et comment il peut contribuer à la protection des terres et des cultures.

Nous offrons des services complémentaires tels que l'analyse des données, la génération de rapports personnalisés, la maintenance du drone et le support technique. Cela renforce la valeur perçue de notre solution et crée une relation à long terme avec nos clients.

Nous utilisons les médias sociaux pour promouvoir notre projet, partager des informations utiles sur la prévention des incendies, les bonnes pratiques agricoles et les actualités liées à notre domaine d'activité. Nous nous impliquons dans des discussions en ligne, répondons aux questions et interagissons avec notre public.

5. Conclusion :

Le processus de commercialisation, le marché cible et le groupe cible sont considérés comme les points les plus importants du projet de démarrage car il est la source de revenus financiers et la source de croissance future de cette entreprise. bien étudier ces points pour assurer le succès de la start-up.

V- Chapitre 4 : la main d'œuvre et les principaux partenaires :

1. Introduction :

Dans cette section, nous aborderons la main-d'œuvre et les principaux partenaires, qui sont également une composante active du projet.

2. la main d'œuvre :

La main-d'œuvre dans ce projet de drone de détection des incendies dans les terres agricoles joue un rôle essentiel. Voici quelques aspects liés à la main-d'œuvre :

Développement et ingénierie : Le projet nécessite une équipe d'ingénieurs et de développeurs pour concevoir et construire le drone de détection des incendies. Ils sont chargés de développer les fonctionnalités nécessaires, d'intégrer les capteurs appropriés et d'assurer le bon fonctionnement du drone.

Exploitation et maintenance des drones : Une équipe qualifiée est nécessaire pour piloter les drones lors des opérations de détection des incendies. Ces opérateurs doivent être formés pour manipuler les drones de manière sûre et efficace, ainsi que pour interpréter les données collectées. De plus, une équipe de maintenance est requise pour effectuer les réparations et les entretiens réguliers des drones afin de garantir leur bon fonctionnement.

Analyse des données : Les données collectées par les drones doivent être traitées et analysées pour détecter les incendies potentiels. Une équipe d'analystes de données est nécessaire pour interpréter ces informations, générer des rapports et fournir des recommandations aux utilisateurs finaux.

Support technique et service client : Une équipe de support technique est essentielle pour répondre aux questions des clients, résoudre les problèmes techniques et fournir une assistance générale liée à l'utilisation du drone de détection des incendies. Un service client efficace est important pour maintenir de bonnes relations avec les clients et assurer leur satisfaction.

Formation et sensibilisation : Des formateurs qualifiés peuvent être nécessaires pour dispenser des sessions de formation aux utilisateurs finaux sur l'utilisation adéquate du drone, les procédures de sécurité et les meilleures pratiques de lutte contre les incendies. Ils

peuvent également participer à des activités de sensibilisation pour promouvoir l'adoption de cette technologie et en expliquer les avantages.

3. Les principaux partenaires :



Les principaux partenaires de ce projet de drone de détection des incendies dans les terres agricoles peuvent inclure :

Fournisseurs de technologies et de capteurs : Les entreprises spécialisées dans la fourniture de technologies et de capteurs de détection des incendies peuvent être des partenaires importants. Ils peuvent fournir des capteurs thermiques, des caméras infrarouges ou d'autres équipements de détection avancés qui sont intégrés aux drones pour une détection précise des incendies.

Organisations agricoles et coopératives : Les partenariats avec des associations agricoles, des coopératives ou des groupes d'agriculteurs peuvent être bénéfiques pour promouvoir l'adoption du drone de détection des incendies. Ces partenaires peuvent aider à sensibiliser les agriculteurs, à fournir des informations sur les pratiques agricoles et à faciliter la diffusion de la technologie dans la communauté agricole.

Services d'incendie et autorités compétentes : Les services d'incendie locaux, les agences gouvernementales responsables de la gestion des incendies et d'autres autorités compétentes dans ce domaine peuvent être des partenaires clés. Ils peuvent collaborer avec le projet en partageant des informations sur les zones à risque, en fournissant des directives opérationnelles et en coordonnant les interventions en cas d'incendie.

Entreprises d'analyse des données : Les partenariats avec des entreprises spécialisées dans l'analyse des données peuvent être précieux. Ces partenaires peuvent aider à traiter et à analyser les données collectées par les drones, en fournissant des informations précises sur la détection des incendies et en générant des rapports exploitables pour les utilisateurs finaux.

Clients et utilisateurs finaux : Les agriculteurs, les exploitants agricoles, les propriétaires terriens et les autorités compétentes sont également des partenaires clés dans ce projet. Leur collaboration est essentielle pour tester et valider la technologie, fournir des commentaires et

des informations sur les besoins spécifiques du marché, et assurer une adoption réussie du drone de détection des incendies.

4. Conclusion :

Dans la conclusion, il est clair que les partenaires clés jouent un rôle essentiel dans le succès d'une entreprise émergente. Ces partenariats reposent sur une collaboration et une communication efficaces avec toutes les parties prenantes, qu'il s'agisse d'investisseurs, de partenaires commerciaux, de fournisseurs ou de clients. Le projet doit tirer parti de leurs expériences et de leurs ressources pour atteindre ses objectifs et assurer une croissance durable.

La construction de relations solides avec les partenaires clés contribue à renforcer la compétitivité, à élargir la base de clients et à réaliser l'excellence sur le marché. Les partenaires clés offrent également des opportunités d'expansion du réseau de relations et d'apprentissage continu grâce à la collaboration et à l'échange de connaissances et d'expertise. Il est donc essentiel pour l'entreprise émergente de choisir soigneusement les partenaires clés appropriés et de développer des relations solides et durables avec eux. Ces partenariats doivent être basés sur la confiance, la compréhension mutuelle et le bénéfice mutuel, ce qui renforce les chances de succès et de croissance tant pour le projet que pour les partenaires. En conclusion, la force du projet réside dans une collaboration et un partenariat efficaces avec les partenaires clés, ce qui contribue à la réalisation des objectifs du projet et à la construction d'un succès durable sur le marché des affaires.

VI- Chapitre 5 : Coûts et besoins du projet :

1. Introduction :

Dans cette section, nous parlerons des coûts nécessaires pour établir ce projet, et nous présenterons tous les coûts et exigences pour établir cette startup

2. Coûts et besoins du projet :

Les coûts et besoins d'un projet de drone de détection des incendies dans les terres agricoles peuvent varier en fonction de divers facteurs tels que la portée du projet, la taille de la zone à couvrir, la complexité de la technologie utilisée et les objectifs spécifiques du projet. Voici quelques coûts et besoins généraux à considérer :

Coûts de développement du drone : Cela comprend les coûts liés à la conception, à la fabrication et à l'assemblage du drone lui-même, y compris les capteurs, les caméras, les batteries, les logiciels embarqués, etc. Ces coûts peuvent varier en fonction de la qualité des composants utilisés et des fonctionnalités spécifiques requises.

Coûts des technologies de détection des incendies : Les capteurs thermiques, les caméras infrarouges et autres technologies de détection des incendies peuvent représenter une partie significative des coûts du projet. Il est important d'évaluer différentes options et de choisir des technologies fiables et précises qui répondent aux besoins de détection spécifiques.

Coûts de l'infrastructure de soutien : Cela inclut les coûts liés à l'établissement d'une infrastructure de soutien telle que des bases opérationnelles, des centres de contrôle, des systèmes de stockage et de gestion des données, des outils de visualisation des données, etc. Ces coûts peuvent varier en fonction de la taille du projet et des besoins spécifiques.

Coûts de marketing et de promotion : La promotion du projet, la sensibilisation des clients potentiels et la communication des avantages de la technologie nécessitent des dépenses de marketing et de promotion. Cela peut inclure la création de matériel promotionnel, la participation à des salons professionnels, des campagnes publicitaires en ligne et hors ligne, etc.

Coûts de maintenance et de mise à jour : Il est important de prévoir les coûts liés à la maintenance régulière des drones, des capteurs et de l'infrastructure de soutien, ainsi que les coûts de mise à jour des logiciels et des technologies pour rester à jour avec les dernières avancées.

3. Les coûts financiers du projet :



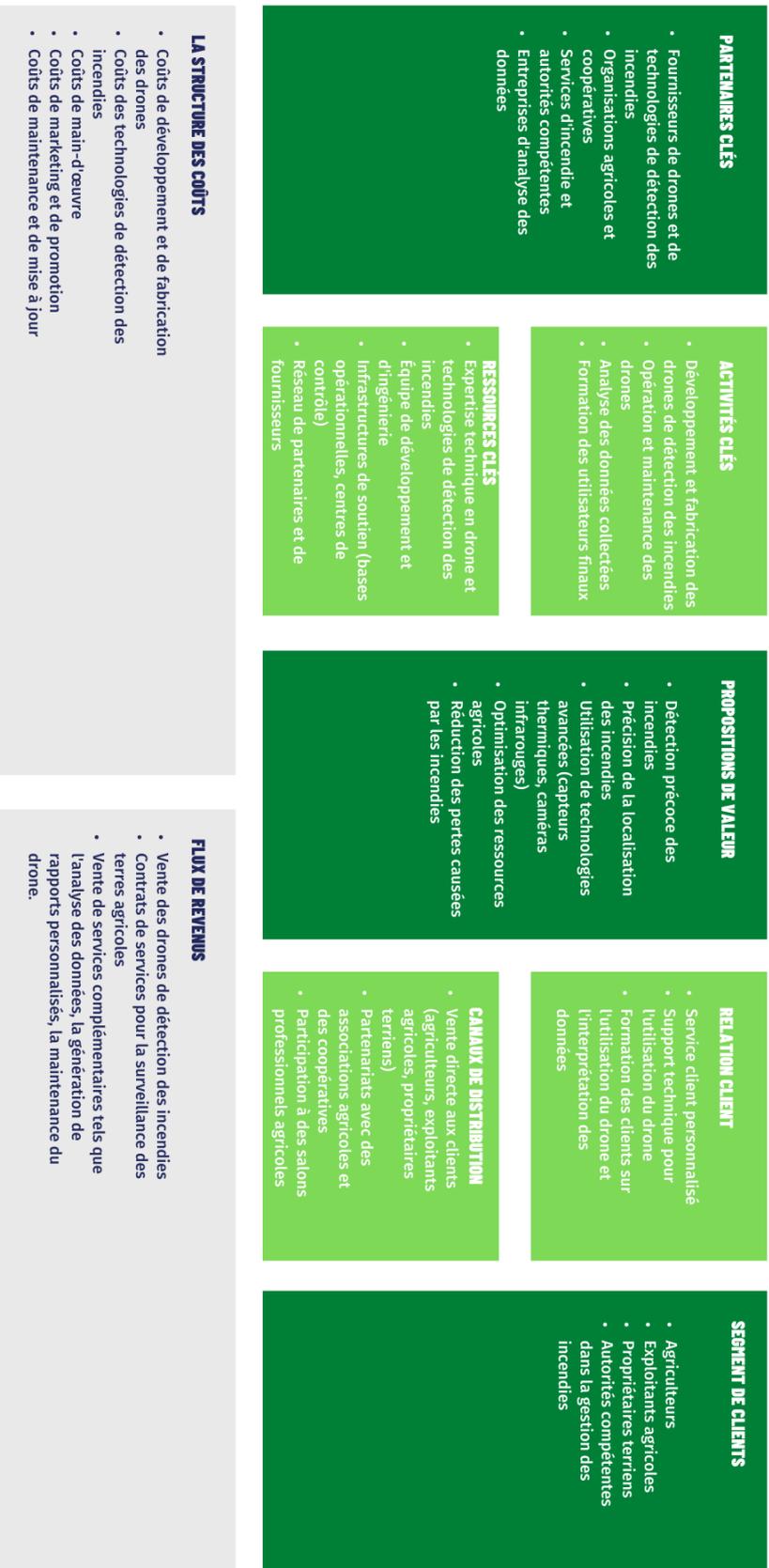
Coûts et besoins du projet	le nombre demandé	Le prix
Imprimante 3D	x2	\$2000
Pièces spéciales pour fabriquer un drone	///	///
Une camera thermique	///	///
Moyen de transport	x1	///
Lieu de travail avec matériel bureautique	x1	///
Matériel d'entretien électronique	x2	\$800

4. Conclusion :

Il comprend les coûts de création de l'entreprise elle-même, tels que l'enregistrement de l'entreprise, la préparation des documents juridiques et l'obtention des licences et permis nécessaires. Cela peut également inclure des frais de consultation avec un avocat ou un conseiller financier pour assurer le respect des lois et parvenir à une réglementation appropriée.



Business Model Canvas



VIII-Le prototype :

Un prototype de start-up est une version initiale et fonctionnelle d'une entreprise en cours de développement. Il s'agit d'une démonstration concrète de l'idée commerciale et du modèle d'entreprise envisagés

Les objectifs principaux d'un prototype de start-up sont de recueillir des commentaires, d'apprendre des utilisateurs potentiels et de valider les hypothèses fondamentales. En utilisant le prototype, nous pouvons itérer et affiner notre produit ou service en fonction des retours d'expérience, afin d'améliorer sa pertinence et son attrait sur le marché. Les prototypes de start-up jouent souvent un rôle crucial pour nous convaincre les investisseurs et obtenir du financement supplémentaire pour la croissance de notre entreprise.

Il est important de noter que le prototype de start-up est une étape préliminaire dans le processus de développement de notre entreprise. Il ne représente pas encore la version finale du produit ou du service, mais sert plutôt de preuve de concept et de base pour guider nos prochaines étapes de développement.



Figure 5 : un prototype de drone

IX- Conclusion générale

En conclusion, nous, en tant que start-up, sommes un moteur d'innovation, de changement et de croissance économique. Nous incarnons l'esprit entrepreneurial et la volonté de repousser les limites pour résoudre les problèmes de notre société. Grâce à notre agilité, notre capacité à prendre des risques et notre utilisation de technologies innovantes, nous avons le potentiel de transformer des industries entières et d'apporter des changements significatifs.

Nos succès inspirants nous ont montré que des idées novatrices, combinées à une exécution efficace, peuvent conduire à des résultats exceptionnels. Cependant, nous reconnaissons également les défis auxquels nous sommes confrontés, tels que la concurrence féroce, les contraintes financières, les obstacles réglementaires et les pressions pour atteindre la rentabilité. Nous savons que le chemin vers le succès n'est pas facile, mais nous sommes déterminés à relever ces défis.

Nous apprécions le soutien des gouvernements, des investisseurs et des écosystèmes entrepreneuriaux qui reconnaissent l'importance des start-ups pour la croissance économique et l'innovation. Leurs mesures pour soutenir notre développement, telles que l'accès à des financements, des programmes d'incubation et d'accélération, ainsi que des réglementations favorables, sont essentielles à notre réussite.

En tant que start-up, nous sommes conscients de notre rôle dans la création d'opportunités, la redéfinition des modèles commerciaux existants et la contribution à la construction de notre avenir. Nous croyons en l'importance de l'esprit entrepreneurial et de l'innovation pour favoriser une croissance économique durable et résoudre les défis complexes de notre société.

Ensemble, en tant que start-up, nous sommes déterminés à poursuivre notre mission, à apporter des solutions novatrices et à faire une différence positive dans le monde qui nous entoure.