REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electronique

Spécialité : instrumentation

Etude et réalisation d'un drone Quadrirotor

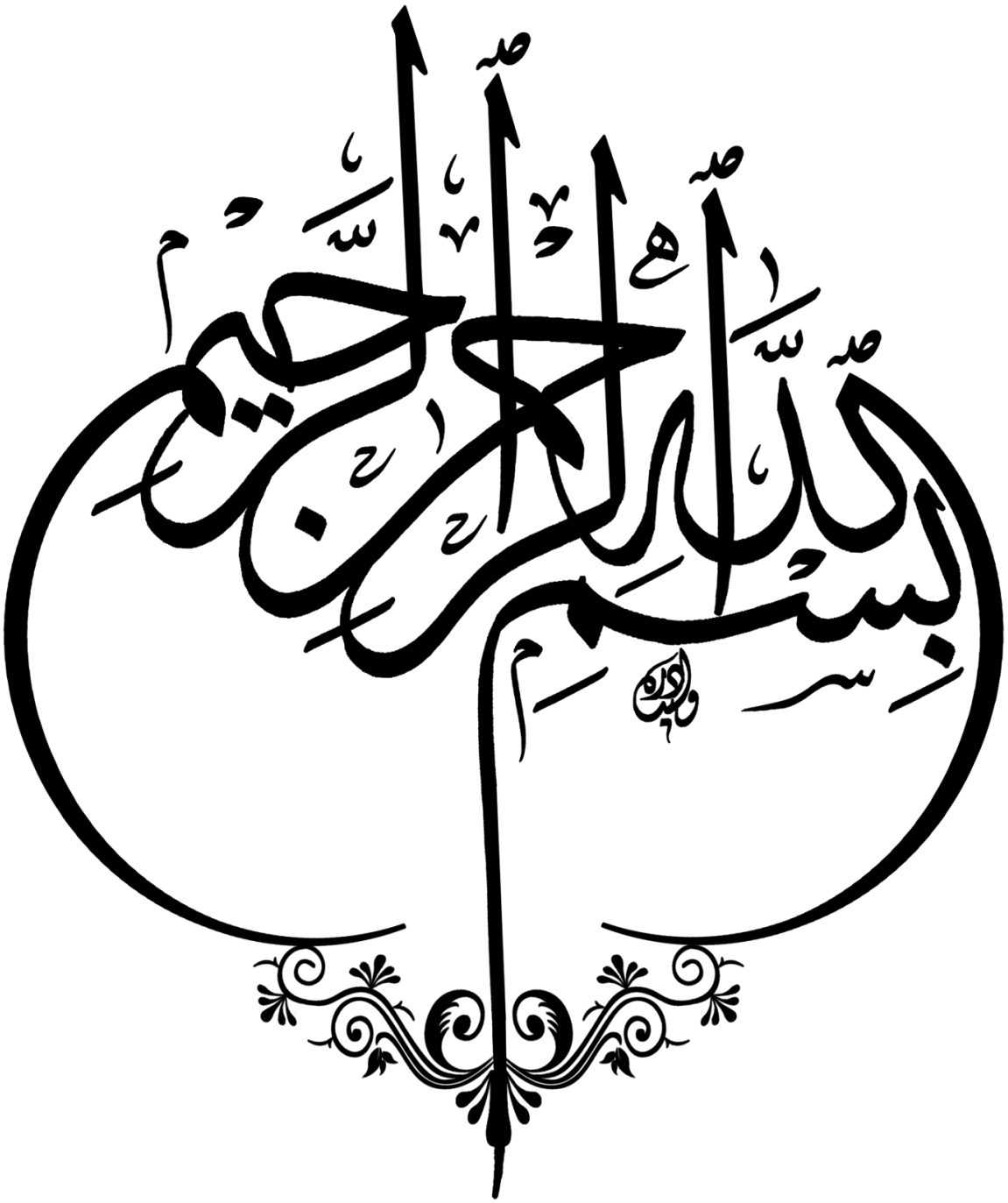
Présenté par :

BERRAF MOHAMED

Proposé et Dirigé par :

BOUCHERIT ISMAIL

Promotion 2020


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

Je Remercie Dieu ALLAH Tous Puissant Qui Je Donné Le Courage De Confronter Ce Nouveau Domaine, tft La Force De Réaliser Ce Travail. Je Tiens A Remercier Les Personnes Qui Garce A tfux, Je Ne Pourrai Jamais tftre Là, Ma Mère tft Mon Père. Ainsi Que Toute Ma Famille.

Je Remercie Monsieur BOUCHRIT, Mon tfncadreur, Pour Sa Patience Avec Moi tft Ces Conseils Durant Mon Projet.

tfnfin Je Tiens A Remercier Toutes Les Personnes Qui Aidés Dans Sou Projet.



ملخص

يتعامل هذا المشروع مع تصميم وبناء طائرة بدون طيار صغيرة.
تقدم الأطروحة نموذجا رياضيًا لمحاكاة وتوليف قوانين التحكم .بناءً على النموذج ، تم استخدام طريقتين للتحكم في وحدات تحكم مختلفة.
أعطي مراحل مختلفة من البناء ، وإدراك الطائرة بدون طيار الخاصة بي.
تم تصنيع طائرة بدون طيار صغيرة على أساس أربعة محركات كهربائية مثبتة على .تم إنتاج وحدة بالتصوير الذاتي.
تطور النموذج الديناميكي والمحاكاة من مجموعة بسيطة من معادلات قوانين نيوتن ، وهي صالحة فقط في تحليق الطيران.
أظهرت نتائج المحاكاة تحسين أدائها في التحكم في القطع.
أخيرًا ، أعطي نتائج التحكم التي تم استخدامها على طول هذه الأطروحة على أساس **PID**

Résumé

Ce projet traite de la conception et de la réalisation d'un micro drone.

Le mémoire introduit un modèle mathématique pour la simulation et la synthèse des lois de commande. Basé sur le modèle, deux techniques de commande ont été utilisées pour concevoir divers contrôleurs.

Je donne les différentes étapes de construction, et la réalisation de mon micro drone.

Un micro drone a été réalisé à base de quatre moteurs électriques, fixés sur. Une centrale inertielle a été réalisée.

Le modèle dynamique et la simulation ont évolué d'un simple set d'équations des lois de physique du mouvement, seulement valide en vol stationnaire.

Des résultats de simulation ont été données montants Leurs performances en contrôle d'assiette.

Finalement, je donne la technique de contrôle ont été utilisées le long de cette thèse est basée sur le PID.

Mots clés : micro drone, Quadrotor, fonctionnement, la commande, la réalisation, la conception, moteurs électriques.

summary

This project deals with the design and construction of a micro drone.

The thesis introduces a mathematical model for the simulation and synthesis of control laws. Based on the model, two control techniques were used to design various controllers.

I give the different stages of construction, and the realization of my micro drone.

A micro drone was made based on four electric motors, fixed on. An inertial unit has been produced.

The dynamic model and simulation evolved from a simple set of equations of the laws of physics of motion, only valid in hovering flight.

Simulation results have been shown to improve their performance in trim control.

Finally, I give the control techniques have been used along this thesis is based on the PID.

Key words: micro drone, quadrotor, operation, control, production, design, electric motors, PID.

Sommaire

Résume……..

Liste des figures…….

Introduction Générale.....1

Chapitre I : Généralité sur les UAVs (Etat de l'art)

1 Introduction : ..... 3.

.

2 Début de développe..... 3

L'hélicoptère Classiques 4

L'hélicoptère birotor coaxiale..... 4.

L'hélicoptère birotor (un rotor pour chaque extrémité) :..... 5.

3 Généralités sur les Drone (UAV) : .....6.

Définition d'UAV : .....6.

Les origines des drones:.....7.

Classification des drones :. ..... 8.

Les drones miniatures :.....9.

Les drones de court rayon d'action : ..... 10.

Les drones tactiques à moyen rayon d'action : .....11.

L'utilisation des drones :. ..... 12.

Les applications des drones : ..... 13.

4 Drone civil : définition, avantages, inconvénients : .....13.

Les avantages :..... 14.

Les inconvénients :.....14.

5 Drone civil : la réglementation :..... 14.

6 Conclusion :..... 15.

Chapitre II : Description Mécanique Et Electronique

1 Introduction : ..... 16.

2 Partie mécanique : ..... 16.

Choix des matériaux et passage à l'usinage : ..... 16.

La construction mécanique : ..... 17.

Le châssis : ..... 17.

Les actionneurs (corelessmoteur) : ..... 19.

Les hélices : ..... 21.

3 Partie électronique :. ..... 22.

3.1 MPU-6050: ..... 22.

Gyroscope :. ..... 23.

Accéléromètre: ..... 24.

Avantages des capteurs MEMS:. ..... 26.

Le contrôleur des moteur L293D:. ..... 27.

Le Principe de fonctionnement du pont en H. ..... 28.

Caractéristiques du L293D : ..... 29.

3.2.3 PWM ..... 30.

Le convertisseur boost 31

Circuit de command ARDUINO (PRO MICRO) :. ..... 33.

ARDUINO PRO MICRO : ..... 33.

Programmation de la carte ARDUINO (IDE) : ..... 35.

La batterie : ..... 36.

4 Conclusion 37

Chapitre III : Principe de fonctionnement d'un microdrone

1 Sens de rotation des voilures tournantes 38

2 Mouvements possibles ..... 39.

Le Lacet ..... 39.

Le Tangage et le Roulis : ..... 41.

3 Mode de vol ..... 42.

Vol vertical ..... 42.

Vol stationnaire ..... 42.

Vol de translation ..... 42.

4 Conclusion ..... 42.

Chapitre IV : Stabilisation du drone sur les trois axes de l'acet tangage et rouils

1 Les équations d'état du micro drone 44

2 Application du correcteur PID ..... 48.

3 Résultats obtenus 49

4 La techniques de régulation 52

5 Conclusion ..... 53.

Conclusion générale 53

Respectives 53

Difficultés rencontres 54

Chapitre I : Généralité sur les UAVs (Etat de l'art)

Figure I.1 : Hélicoptère Classiques (un rotor principal et un rotor de queue) 4
Figure I.2 : Hélicoptère birotor coaxial 5
Figure I.3 : L'hélicoptère birotor (un rotor pour chaque extrémité).....5
Figure I.4 : Hélicoptère à quadrotor.....6
Figure I.5 : Micro Drone.....9
Figure I.6 : drones de court rayon.....10
Figure I.7 : drones de moyen rayon.....11

Chapitre II : Description Mécanique Et Electronique

Figure II.1: plaque d'expérimentation 16
Figure I I.2 : Feuille de forme d'un micro drone 17
Figure II.3 : Feuille de forme dans plaque d'expérimentation 18
Figure II.4 : Le châssis final de micro drone 19
Figure II.5 : coreless moteur.....20
Figure II.6 : Les hélices 21
Figure II.7: capteur MPU6050… 22
Figure II.8: La microstructure du gyroscope 23
Figure II.9: Gyroscope Piezo Electric 24
Figure II.10: La microstructure de l'accéléromètre 25
Figure II.11: Accéléromètre Piezo Electric.....26
Figure II.12 : contrôleur des moteur L293D… 27
Figure II.13 : description des pins de contrôleur.....28
Figure II.14: Schéma de principe de fonctionnement du pont H… 29

Figure II.15: signal carré 30
Figure II.16: pourcentage d'un signal carré 30
Figure II.17 : l'hacheur boost 31
Figure II.18 l'hacheur boost (plus d'etaille) 32
Figure II.19: Arduino pro micro 33
Figure II.20 : les entres et les sortie D'Arduino pro micro 34
Figure II.21 : l'interface IDE 35
Figure II.22 : La batterie de lithium 3.7v 36
Figure II.23 : Branchement de circuit 37

Chapitre III : Principe de fonctionnement d'un micro drone

Figure III.1 : Vue globale de notre micro drone 38
Figure III.2 : Sens de rotation des rotors du micro drone 39
Figure III.3 : Mouvement de lacet 40
Figure III.4 : *Forces* aérodynamiques 40
Figure III.5 : Tangage et Roulis 41
Figure III.6 **:** Mouvement de Tangage 41
Figure III.7 : Mouvement de Roulis 42

Chapitre IV : Stabilisation du drone sur les trois axes de l'acet tangage et rouils

Figure IV.1 : Schéma synoptique de la commande 44
Figure IV.2 : Rotation angulaire, et translation linéaire 48
Figure IV.3: Schéma du modèle Simulink avec correcteurs PID 49

Figure IV.4 : Résultat de simulation : correction PID sur le roulis.....50
Figure IV.5: Résultat de simulation : correction PID sur le tangage 50
Figure IV.6 :Résultat de simulation : correction PID sur le lacet.....51
Figure IV.7 : stabilisation des angles d'Euler du quadrirotor(par PID)..... 52

Ces dernières années, le contrôle des machines volantes a attiré l'attention des ingénieurs en l'électroniques et automatique.

Différentes méthodes sont proposées pour contrôler les avions, les hélicoptères, les missiles, les satellites, les petits hélicoptères, les drones, etc.… [1].
Cette note vise à analyser le contexte d'intégration des drones alors que L'intérêt pour les drones télécommandés semble de plus en plus grandir en particulier pour les applications militaires (par exemple le déminage) et les interférences dans des environnements hostiles (environnements radioactifs). On peut visualiser un drone afin d'explorer un bâtiment ou un tunnel contaminé et faire la première observation avant toute intervention humaine.
Il ne fait aucun doute que le domaine des drones est la meilleure illustration des progrès réalisés en robotique pour les systèmes d'armes et d'agriculture etc.…
Dans ce mémoire, nous nous intéressons plus particulièrement à un quadrotor (micro hélicoptère à quatre hélices). Les drones quadrotors sont parmi les plus complexes des objets volants, parce que leur dynamique de vol est intrinsèquement non linéaire, et les variables sont fortement couplées. Le quadrotor a la capacité d'effectuer un vol stationnaire, ce qui est requis dans certaines applications.
L'objectif de ce projet est de construire un drone quadrotor, piloté via une radiofréquence (RF), ainsi une réalisation d'une centrale inertielle, qui pourra être utilisé par la suite dans le mode de vol autonome. Ensuite développer un modèle dynamique de ce quadrotor qui servira de base à un approche de régulation autour de la position d'équilibre (vol stationnaire). d'abord une approche classique par proportionnelle intégrale dérivée (PID)
Ce mémoire est organisé comme suite :

Le premier chapitre Généralité sur les UAV (véhicule aérien sans pilote) :

Dans ce chapitre nous proposons un état de l'art des drones. Une description des différentes configurations des drones hélicoptères est donnée. Nous proposons aussi des configurations plus modernes réalisées très récemment soit par des chercheurs universitaires, soit par le secteur militaires

Le deuxième chapitre Description de construction mécanique et électronique d'un micro drone. Dans ce chapitre nous avons détaillé les différentes étapes de la construction mécanique de notre drone quadrirotor. Ainsi que l'emplacement des différentes cartes électroniques réalisées (carte des capteurs à base d'**ARDUINO,** et la carte de puissance). Ensuite, nous avons présenté la manière dont on commande les quatre moteurs par les MLI, et une description de la réalisation de la centrale inertielle, et l'utilisation des capteurs (accéléromètre, et gyroscopes)

Dans le troisième chapitre Précisé le principe de fonctionnement d'un micro drone.
Ce chapitre est une description du principe de fonctionnement du drone quadrirotor (micro drone) est présentée avec une description détaillée sur ses mouvements possibles ainsi que les modes de vol, en collaboration avec le jargon (tangage, roulis, lacet) de vol correct, qui désigne les signaux d'entrée et de leurs réponses de sorties correspondantes.
Dans le dernier chapitre Stabilisation le micro drone sur les trois axes de lacet, tangage et roulis :
Cette partie est une introduction sur la théorie de la dynamique des engins volants est Abordée. Un modèle dynamique du quadrirotor est donné, en se basant sur des références Bibliographiques des études plus avancées. Une commande a été étudiée, la commande par Un correcteur proportionnelle intégrale dérivé (PID).

Chapitre I:

Généralité Sur Les UAVs (Etat De L’art)

1 Introduction :

Le nom de drone vient d'un mot anglais signifiant faux-bourdon donné comme surnom par l'artillerie anglaise dans les années 1930 **c'**est un engin volant qui est capable de voler et d'effectuer une mission sans présence humain à bord, il peut voler d'une façon autonome ou à l'assistance d'un pilote dans une station **[1]**. Les drones sont capables de transporter des caméras, des capteurs, des équipements de communication ou d'autres dispositifs. Ils sont utilisés pour réaliser des missions de reconnaissance, de recherche d'informations ou des opérations de combat, etc.

2 Début de développe :

Au début du nouveau millénaire, les progrès dans de nombreuses technologies tel que la propulsion, les matériaux, l'électronique, les ordinateurs, les capteurs, les instruments de navigation, etc. ont contribué au développement des drones hélicoptères et d'autres configurations de véhicules aériens. [1].

Les drones hélicoptères peuvent être utiles dans de nombreux domaines, du civile aux militaires. Les utilités civiles sont la surveillance, le sauvetage (en mer et en montagne), ambulance aérienne, lutte contre l'incendie, etc. les rôles militaires comprennent le déminage, la surveillance du champ de bataille, etc. [2].

Aujourd'hui les drones hélicoptères jouent un rôle très important dans l'aviation moderne. Les nouvelles générations des drones qui sont capables de faire un vol stationnaire, sont conçues pour être petits, plus légers et avec certaines fonctions d'autonomies. [2-5].

On peut citer à titre d'exemple les drones à voilure tournante ou les Hélicoptères qui peuvent être classés comme suit :

1. l'hélicoptère Classiques (un rotor principal et un rotor de à compléter

2. l'hélicoptère birotor coaxial.

3. l'hélicoptère birotor (un rotor pour chaque extrémité).

4. Multi rotor par exemple : le quadrotor (hélicoptère à quatre voilure tournante)

L'hélicoptère Classiques :

L'hélicoptère est soumis à deux forces : la traînée, c'est-à-dire la résistance à l'avancement, et la portance qui soulève l'appareil grâce à ses pales. Par la modification de leur inclinaison, l'hélicoptère a la possibilité de se maintenir en l'air pour réaliser un vol stationnaire : pour cela, la portance globale doit se maintenir sur un tour de rotor.



Figure I.1 : Hélicoptère Classiques (un rotor principal et un rotor de queue).

L'hélicoptère birotor coaxiale

Les hélicoptères radiocommandés birotor coaxiaux sont particulièrement destinés à l'apprentissage du pilotage. Ils sont plus stables et plus simples à contrôler que les hélicoptères normaux. Ils possèdent deux rotors superposés tournant en sens opposés et ne possèdent pas de rotor de queue



Figure I.2 : Hélicoptère birotor coaxial

L'hélicoptère birotor (un rotor pour chaque extrémité) :

La configuration, Tandem rotor (ou Birotor, côte à côte) est principalement utilisé dans les hélicoptères de grande taille (voir la figure I.3). La construction du système de contrôle est beaucoup plus compliquée par rapport à un hélicoptère avec un rotor de queue. La disposition des deux rotors côte à côte n'a jamais été très populaire [6].



Figure I.3 : L'hélicoptère birotor (un rotor pour chaque extrémité)

L'hélicoptère Multi rotor (hélicoptère à plusieurs voilures tournantes) :

L'hélicoptère à quadrotor est le plus populaire parmi les hélicoptères multi rotor.

L'un des avantages de l'utilisation d'un hélicoptère multi rotors, est la capacité d'emporter des poids élevés car il a plus de portance. [3].

Les inconvénients sont la masse de l'hélicoptère et la consommation accrue d'énergie due àdes moteurs. Comme il est contrôlé par des changements de vitesse du rotor, il est plus adapté aux moteurs électriques [4].



Figure I.4 : Hélicoptère à quadrotor

3 Généralités sur les Drone (UAV) :

Définition d'UAV :

Un drone ou Unmanned Aerial Vehicle (UAV) est un aéronef sans passager ni pilote qui peut voler de façon autonome ou être contrôlé à distance depuis le sol. Le mot « drone » est une extrapolation d'un terme anglais qui signifie « faux-bourdon ». En français, le terme est employé

pour désigner des véhicules aériens, terrestres, de surface ou sous-marins, alors que la classification anglo-saxonne distingue chaque type d'appareil [5].

Les origines des drones:

à l'origine, les drones aériens ont été développés pour des usages militaires, principalement pour des missions de reconnaissance, de surveillance et d'attaques ciblées [5].

Depuis 2001, plusieurs centres de recherche et de groupes de spécialistes en aéronautique ont commencé à publier les premiers résultats à propos de la modélisation et de la commande de cet hélicoptère à quatre rotors tels que : les travaux de l'université de Compiègne

Voici une table [I.1] proposée par l'auteur S. Bouabdallah [6], qui regroupe probablement les projets les plus intéressants de ces 15 dernières années.

Tableau I.1 regroupe probablement les projets les plus intéressants de ces 15 dernières années :

Projet	Université	photo
Mesicopter	Stamford	
E. Altug's Thèse	Pennsylvanie	
P. Castillo's Thèse	Compiègne	
A. Clifton's Thèse	Vanderbilt	
P. Pounds's Thèse	ANU	
N. Guenard's Thèse	CEA	
Starmac	Stamford	
M. Kemper's Thèse	Oldenburg	
P. Tournier's Thèse	MIT	
MD4-200	microDrones GmbH	

Classification des drones :

La classification la plus logique des drones adopte pour critères principaux la taille ou les performances (essentiellement la portée, et l'altitude d'opération) ; éventuellement le type de mission si celui-ci implique une spécificité particulière (utilisation agriculture par exemple).

Les drones miniatures :



Figure I.5 : Micro Drone

Cette catégorie recouvre globalement tous les drones dont l'envergure est inférieure à 50 centimètres, cette dernière pouvant descendre jusqu'à quelques cm seulement (On parle dans ce cas de nano-drones). Les micro-drones, dont les dimensions sont inférieures à 15 cm, pèsent environ 50 grammes, pour une vitesse de croisière de l'ordre de 50 Km/h, une autonomie d'une vingtaine de minutes et un rayon d'action d'une dizaine de kilomètres.
D'un coût unitaire de l'ordre du millier de dollars ou inferieur, ces micro-machines sont dédiées à la transmission d'images, de jour comme de nuit. Les missions envisagées dans le domaine militaire sont la reconnaissance d'un itinéraire, l'évaluation de dommages ou l'observation d'une cible fixe.

Utilisées en milieu urbain, on peut imaginer que ces machines survolent ou contournent des pâtés de maisons et même, entrent dans un immeuble... On peut dès lors imaginer les applications civiles, au profit des pompiers, de la police, ou de tous autres services de sécurité.

Les drones de court rayon d'action :



Figure I.6 : drones de court rayon

Dits encore drones TCP (Très Courte Portée), ou, dans le jargon militaire «drones du capitaine», ces drones sont destinés à «voir de l'autre côté de la colline», soit à quelques kilomètres. D'envergure de 0,5 à 2 mètres, et généralement à voilure fixe, ils ont une faible vitesse (quelques dizaines de km/h) et évitent difficilement les obstacles. Les développements technologiques requis pour cette catégorie concernent principalement les capteurs (évitement d'obstacles et caméra jour/nuit miniaturisée).

En fait, les qualités de ces drones sont autant de critères de choix pour l'armée de terre, par exemple : rusticité et simplicité d'utilisation, réduisant l'instruction ; transportable à dos d'homme (replié dans un sac à dos) ; lancement à la main par un seul homme ; discrétion acoustique ; faible coût ; transmission de données en temps réel (et sur une «station-sol» pouvant se réduire à une simple valise).

Les drones tactiques à moyen rayon d'action :



Figure I.7 : drones de moyen rayon

Pouvant être dotés de vitesse lente (150 km/h) ou rapide (700 km/h), ces drones représentent la catégorie intermédiaire, avec des performances variées. Avec une masse au décollage quireste inférieure à une tonne, leur rayon d'action s'étend de 30 à 500 km, leur altitude de vol, de 200 à 5000 mètres, et leur endurance, de 2 à 8 heures.

Cette catégorie a fait l'objet de nombreux développements dans le monde, sauf, curieusement aux Etats-Unis (excepté le drone Shadow). La plupart des systèmes opérationnels sont utilisés

pour des missions de surveillance et de reconnaissance, avec utilisation de senseurs optiques (domaines visible et infrarouge).

Les deux extrêmes de vitesse sont respectivement illustrés par les deux drones utilisés jusqu'à présent par l'armée de l'air française : le CL-289 (700 km/h), et le Crécerelle (environ 140 km/h) [7].

L'utilisation des drones :

Le drone est utilisé Pour plusieurs domaines, les plus importants sont pour les applications, militaires, généralement secrètes et sensibles [1]. Les drones sont utilisés pour :

- La préservation maximale de la vie des soldats en tenant l'information disponible en temps réel.
- La prise de décision tactique en générant des modifications majeures dans la manière de concevoir non seulement les opérations aériennes, mais, au-delà, les principes mêmes des opérations inter armées.
- Les missions principales telles que la reconnaissance, l'espionnage et l'écoute.

Dans le domaine civil, ils sont utilisés dans une grande variété d'applications [2] [3] :

- Recherche et sauvetage dans les endroits inaccessibles et dangereux, comme les montagnes, la mer et les centrales chimiques.
- La reconnaissance des frontières, l'évaluation des dommages, la surveillance des feux de forêt, des lignes électriques haute tension, le survol des régions éloignées, montagneuses et peu accessibles, des zones de pêche et des routes maritimes très fréquentées et dangereuses, les niveaux de pollution atmosphérique ou en mer, la surveillance du trafic routier, les tracés terrestres et la cartographie.
- la surveillance des pipelines de pétrole et de gaz, surveillance de cargaisons dangereuses, des sources d'eau, des vestiges archéologiques, des filons de matières premières ou de combustible.

Les applications des drones :

Les drones peuvent faire des centaines d'applications, parmi ceux-ci [2] :

- Services publics et collectivités (Assistance police, Enquête écologique…)
- Agriculture (Surveillance des zones agricoles, Analyse des cultures…)
- Cartographie (géomètre expert, Analyse numérique des terrains, reconstitution 3D…)
- Architectures et urbanisme (Etude de chantier ou de grands ouvrages sur des angles de vue permettant une meilleure implantation).
- Intervention en sécurité civile (Intervention dans des situations d'urgence afin d'apporter un soutien aux autorités locales pour la surveillance de zones sinistrée).
- Tourisme et suivi d'évènements (Films et photos touristiques avec des angles de vue ne peuvent être effectués avec du matériel standard).
- Missions dangereuses (détection de gaz toxiques, radiations).
- Surveillance :
  - Surveillance de territoire réglementée (chasse, pêche…)
  - Surveillance de chantiers routiers, ferroviaires, bâtiments et travaux publiques…)
  - Surveillance des frontières
  - Surveillance du trafic routier et du transport de matières dangereuses.
- Industrie :
  - Contrôles de zones à risques
  - Surveillance d'installations (panneaux solaires, éoliennes, antennes, etc.)

4 Drone civil : définition, avantages, inconvénients :

Un drone civil c'est un robot volant utile dans de nombreux domaines : secours, journalisme, agriculture, etc.…

Les avantages :

Il existe de nombreuses possibilités avec les drones. Sur le plan économique, l'avènement de ces objets volants ont créé de nouveaux emplois pour les petits inventeurs.

Il faut également mentionner que les drones sont des compléments pour les satellites mais beaucoup plus pratique notamment lors des prises d'image.

Le drone civil participe aussi à la sécurité de la société en générale puisqu'il est possible de faire appel à cette nouvelle invention de se préparer et de gérer les éventuels incendies.

Les drones civils sont de plus en plus utilisés pour atteindre les zones difficiles d'accès comme les endroits jugés dangereux ou encore les villages inondés.

Mais les drones civils ne comportent uniquement que des avantages.

Les inconvénients :

Comme tout objet, les drones ont également des inconvénients.

Tout d'abord, l'utilisation d'un drone porte atteinte à la vie privée des individus puisque la surveillance des gens est rendue beaucoup plus pratique avec cet appareil volant.

En plus de les surveiller, il est possible avec un drone de récolter des renseignements personnels sur chaque personne.

Les drones sont proposés sou différentes tailles, par conséquent, ils ont la capacité de se faufiler sans être remarqué dans des zones qui doivent demeurer secret.

L'anonymat de tout individu est mis en danger avec cet appareil.

C'est incontestablement un appareil très rénovée qui n'engendre pas forcément des avantages pour tout le monde. La meilleure solution c'est de mettre en place une législation qui réglemente l'usage des drones dans les zones publiques.

5 Drone civil : la réglementation :

En Algérie, la loi applicable aux drones inclue des dispositions relatives à la fois au droit civil et au droit pénal. D'autre part, le pilotage des drones est également encadré par le code des transports et le code de l'aviation civile. [9].

Tant pour la sécurité des aéronefs que celle des personnes au sol, ou encore pour le respect de la vie privée et du droit à l'image : **il est très important que les pilotes connaissent et appliquent ces textes**.

De par leur connaissance de ces textes, les pilotes de Drone Réalisation respectent et appliquent ces lois, ce qui est pour vous gage de sécurité [6].

6 Conclusion :

Il est évident que la technologie des drones est une partie importante de l'avenir de la guerre et de l'agriculture et du jeu et de nombreuses choses importantes et devrait devenir une grande industrie commerciale. Le fait que les capacités des drones constituent une menace pour les libertés des populations du monde entier est également apparent. Légiférer sur les drones est aujourd'hui d'une importance capitale car il fixe les limites nécessaires pour protéger les droits à mesure que les drones seront utilisés à l'avenir.

Chapitre II : Description Mécanique Et Electronique

1 Introduction :

Le micro drone est une structure mécanique spéciale contrôlée à l'aide des actionneurs à travers un circuit électrique de commande. Ce chapitre est divisé en deux grandes parties, la description de la partie mécanique ainsi la description de la partie électronique, avec le circuit de commande à la fin du chapitre.

2 Partie mécanique :

Pour procéder notre constitution du projet, il faut choisir le matériel de la conception, puisqu'il nous faut un matériel compatible avec la puissance, l'alimentation, la taille, le fonctionnement et le poids du micro drone , nous avons choisi une conception mécanique relativement simple mais efficace permettant d'atteindre le but recherché, notre structure mécanique est composée de différentes pièces pour construire la forme générale avec les composants nécessaires pour le balancement du micro drone.

Choix des matériaux et passage à l'usinage :

Pour la réalisation de ce modèle est la plaque d'expérimentation (pour la carcasse et le circuit électronique) grâce à ses caractéristiques physiques en l'occurrence sa solidité et sa légèreté qui assurera un bon équilibre du micro drone. [9].

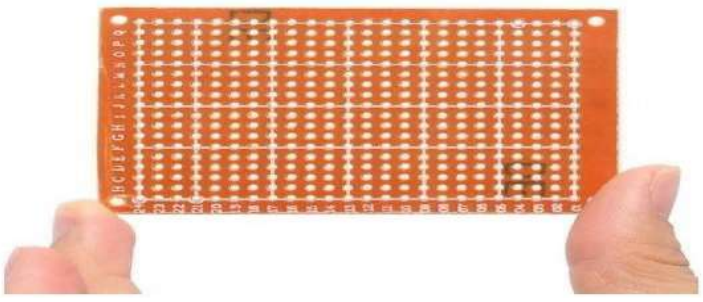


Figure II.1: plaque d'expérimentation

La construction mécanique :

Le châssis :

La structure mécanique est composée sur la plaque d'expérimentation comme suit des photos suivantes :

1/ D'abord on coupe feuille sous la forme de micro drone comme suit :

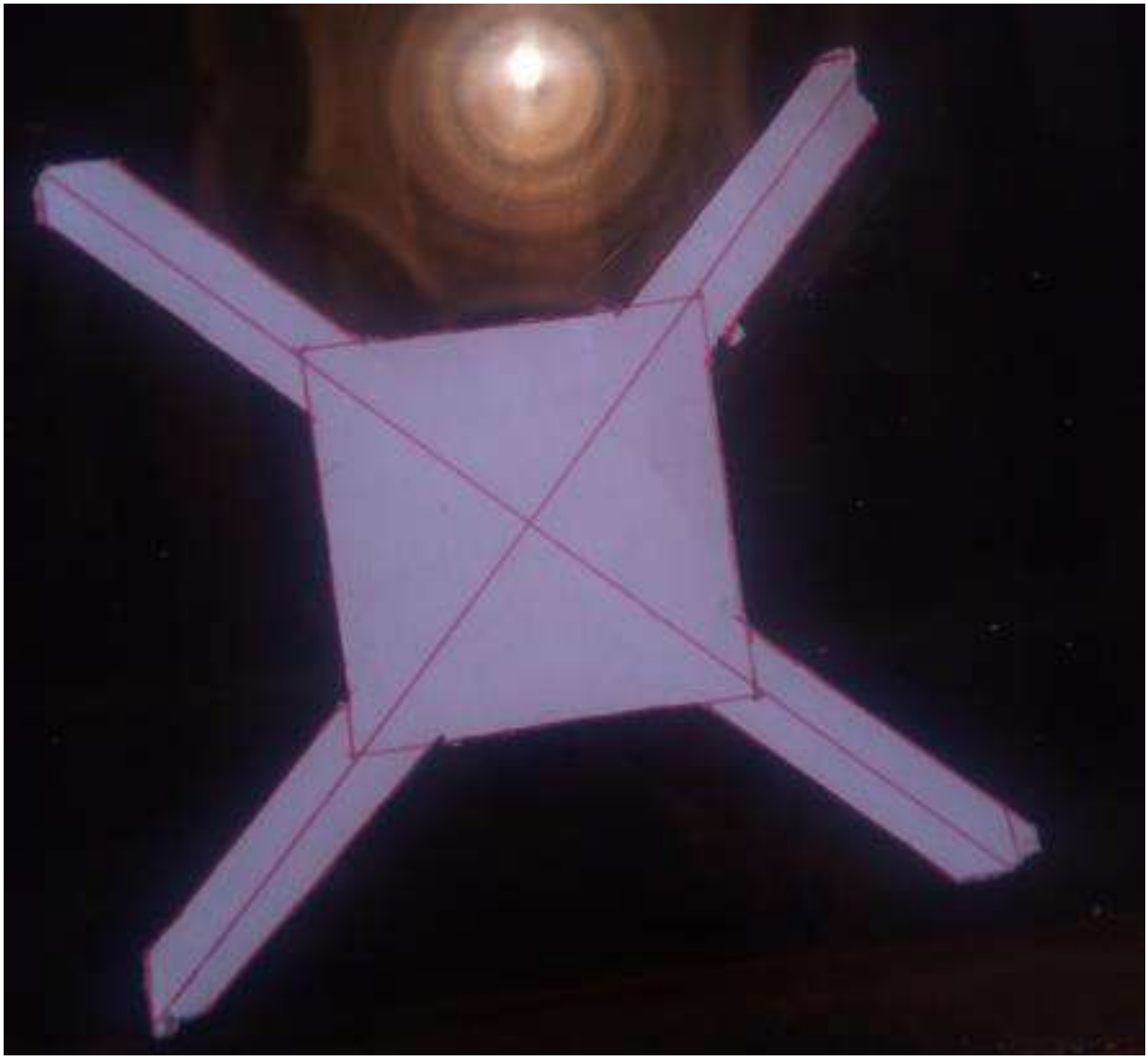


Figure I I.2 : Feuille de forme d'un micro drone

2/ Coupe le plaque d'expérimentation comme la forme de feuille comme suit :



Figure II.3 : Feuille de forme dans plaque d'expérimentation

3/ donc le châssis final :

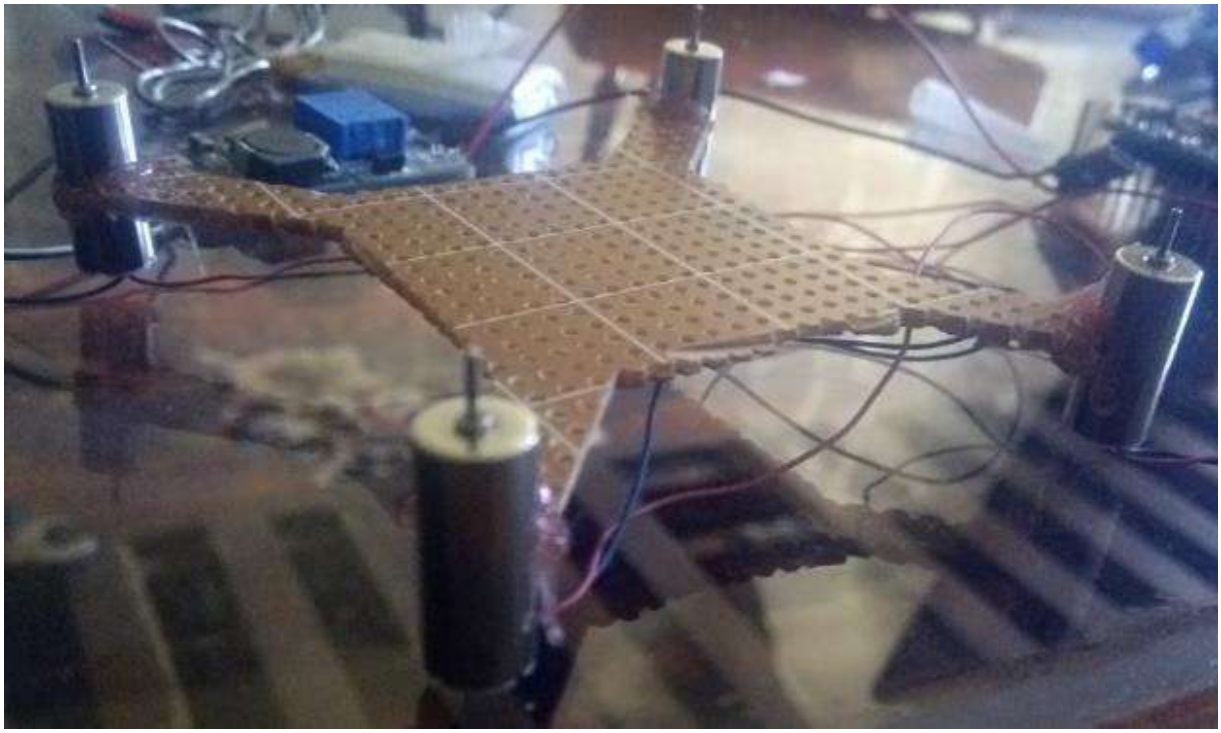


Figure II.4 : Le châssis final de micro drone

Les actionneurs (coreless moteur) :

Le moteur coreless c'est un **moteur** avec le rotor sans noyau de fer.

Cette structure de rotor évite la perte de l'énergie électrique. Cela diminue aussi considérablement le poids et la dimension en donnant une capacité de contrôle et de fonctionnement remarquable. Le temps de réponse est souvent moins de 28ms. [10].

Donc, ce moteur est souvent utilisé pour le micro drone afin de diminuer le poids total et prolonger l'autonomie de vol.

Mais la vie d'utilisation n'est pas assez satisfaisante, donc il change souvent le balai.

Et l'efficacité et la puissance sont aussi faibles. Donc, il offre souvent une basse vitesse avec une torque parfaite. Grâce au manque de composant, il n'est pas facile à influencé par l'interférence afin de diminuer le risque de panne.

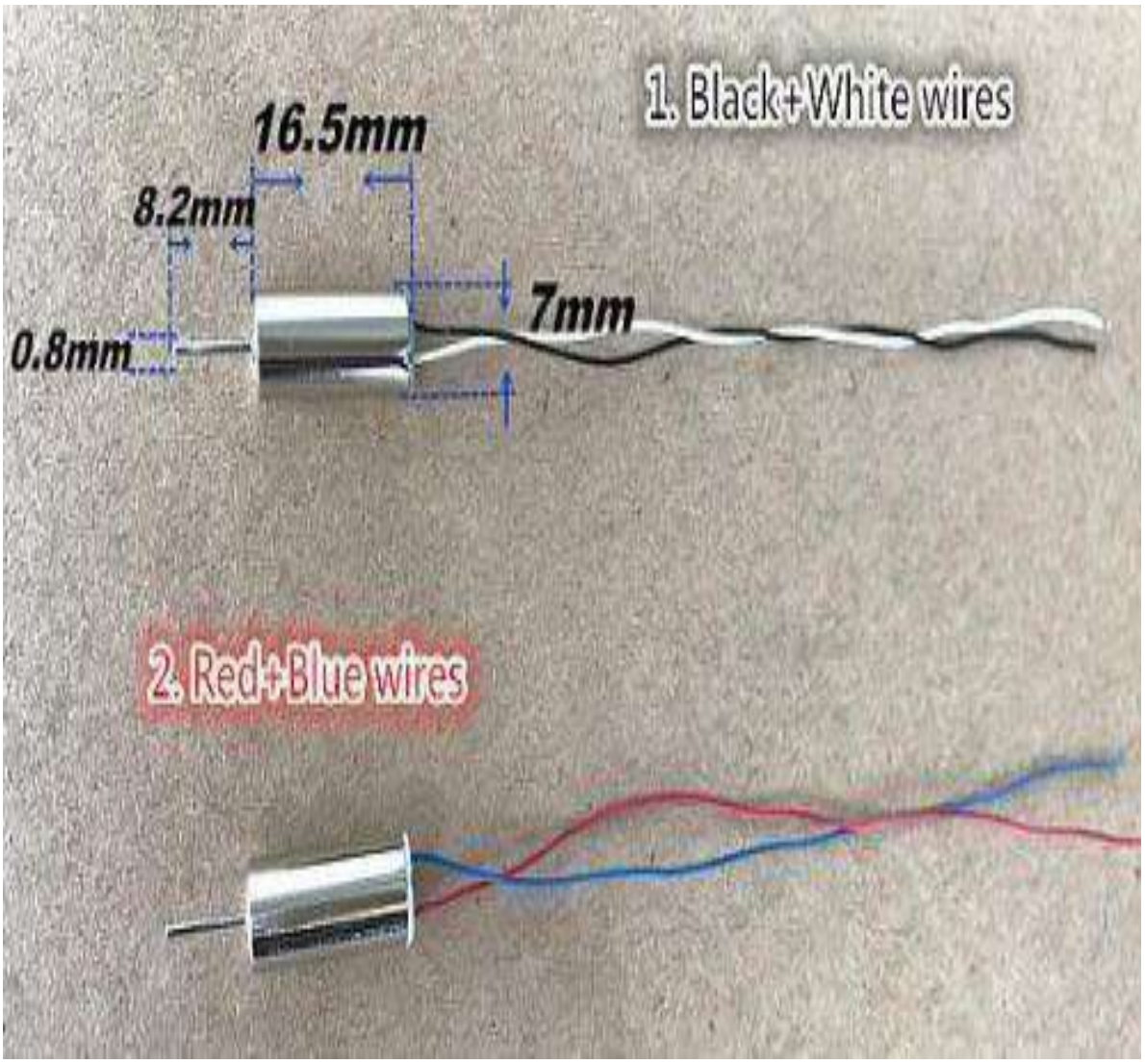


Figure II.5 : coreless moteur

Description

- Couple important
- Compact et léger
- Faible consommation
- Haute vitesse

Caractéristiques :

- Dimensions : Ø 7 x 16.5 mm
- Arbre : Ø 0.8 x 8.2 mm
- Sorties sur fils : 5 cm
- Poids : 6,5 g (par moteur)
- Tension d'alimentation : 3 à 5 V - Consommation : 0,15 A
- Vitesse de rotation : 35000-37000 tr/m @ 3V et environ 50000 tr/m @5V

Les hélices :

Elles doivent être adaptées à la taille de l'engin mais aussi aux moteurs que vous avez choisis



Figure II.6 : Les hélices

3 Partie électronique :

Dans un micro drone la partie électronique joue un rôle très important pour faire fonctionner le système, la mise en marche de tous les systèmes doit disposer des certains éléments électroniques présentent la partie de la commande qui donne des ordres et fait le traitement d'information reçue par les différents composantes et capteurs.

3.1 MPU-6050:

Le dispositif MPU-6050 (Motion Processing Unit) combine un gyroscope 3 axes et un accéléromètre à 3 axes sur le même silicium avec un bord Digital Motion Processor ™ (DMP ™) capable de traiter des algorithmes complexes de Motion Fusion 9 axes L'unité pour accéder également aux capteurs et magnétomètres externes via le bus I2C maître auxiliaire.

Pour le suivi de la précision des mouvements à la fois rapides et lents, le module dispose d'un gyroscope et un accéléromètre programmable par l'utilisateur avec une plage à pleine échelle [11].

- Alimentation : 2,3 à 3,4 Vcc
- Consommation : 3,9 mA maxi

Le MPU6050 utilise le protocole I2C pour communiquer avec la carte Arduino.

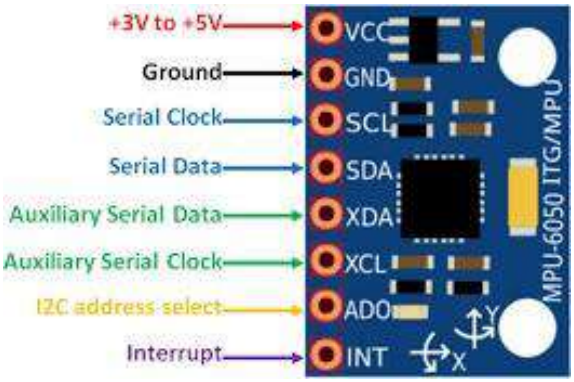


Figure II.7: capteur MPU6050

Ce composant permet de calculer la vitesse angulaire et l'accélération linéaire d'un objet. Le composant est le GY-521, fonctionnant en I2C ou en SPI, qui est un composant MEMS, ce qui signifie qu'il est fortement intégré.

L'utilité de chaque pin et come suite :

VCC: pour l'alimentation du module par 3.3v ou 5v

GND: pour branche la masse au module .

SCL: Utilisé pour fournir une impulsion d'horloge pour la communication I2C

SDA: Utilisé pour transférer des données via une communication I2C

XDA, XCL: Peut être utilisé pour interfacer d'autres modules I2C avec MPU6050. C'est optionnel

ADO: Si plusieurs MPU6050 sont utilisées dans une même MCU, cette broche peut être utilisée pour modifier l'adresse.

INT : Broche d'interruption pour indiquer que les données sont disponibles pour que la MCU puisse les lire..

Gyroscope :

Le gyroscope est un capteur inertiel qui permet d'évaluer la rotation angulaire autour d'un axe. Un gyroscope à 3 axes mesure la rotation autour chacun des axes X, Y, Z. Il calcule le nombre de degrés par seconde qui a été faite en rotation.[11]

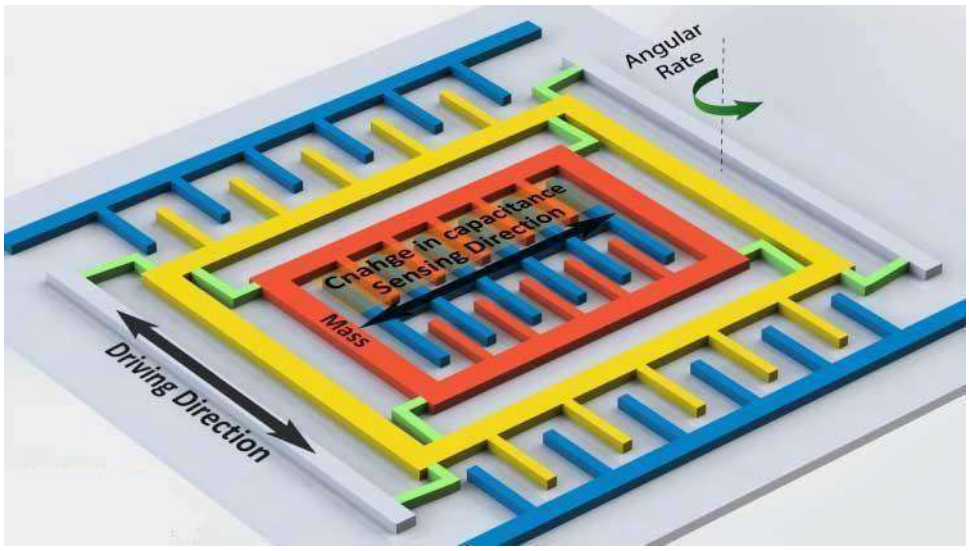


Figure II.8: La microstructure du gyroscope.

Le gyroscope est un appareil qui exploite le principe de la conservation du moment angulaire en physique (ou encore stabilité gyroscopique ou effet gyroscopique). Cette loi fondamentale de la mécanique veut qu'en l'absence de couple appliqué à un solide en rotation, celui-ci conserve son axe de rotation invariable. Lorsqu'un couple est appliqué à l'appareil, il provoque une précession ou une nutation du solide en rotation. Dans les capteurs : un gyroscope est un capteur de position angulaire et un gyromètre un capteur de vitesse angulaire. Le gyroscope

donne la position angulaire (selon un, deux ou les trois axes) de son référentiel par rapport à un référentiel inertiel (ou galiléen) [11]

le gyroscope de module mpu6050 fonctionnent sur le principe de l'accélération de Coriolis. Imaginez qu'il y a une fourchette, comme la structure, qui est en mouvement constant de va-et-vient. Maintenu en place à l'aide de cristaux piézo électriques. Chaque fois, vous essayez de basculer cet arrangement, les cristaux subissent une force dans le sens de l'inclinaison. Ceci est causé en raison de l'inertie de la fourche mobile. Les cristaux produisent ainsi un courant dans un consensus avec l'effet piézoélectrique, et ce courant est amplifié. Les valeurs sont ensuite affinées par le microcontrôleur.[12]

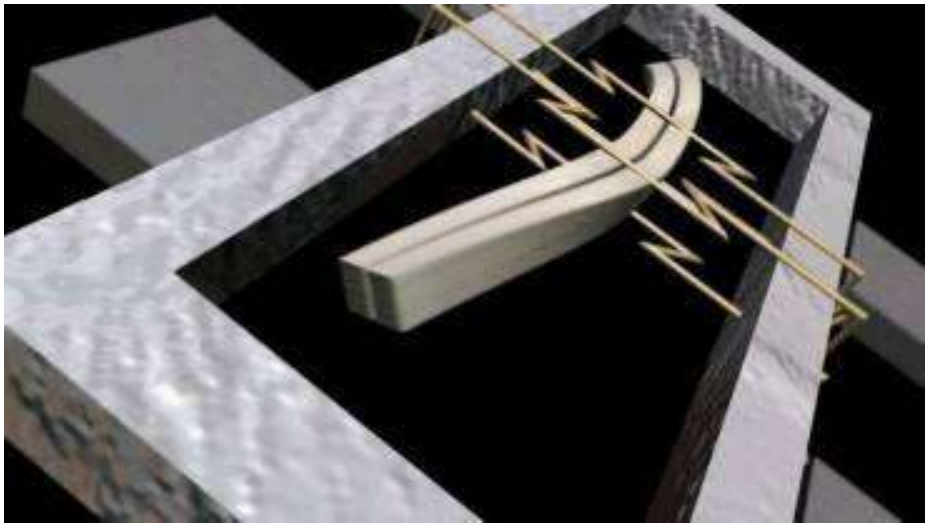


Figure II.9: Gyroscope Piezo Electric

Caractéristiques Gyroscope : [11]

- Digital-output X-, Y-, et Z-Axis angular rate sensors (gyroscopes) programmable avec une plage à pleine échelle ±250, ±500, ±1000, and ±2000°/sec

- tolérance de calibration: ±3%

- Interface de communication : I2C

Accéléromètre:

L'accéléromètre est un capteur qui permet de connaître l'accélération linéaire selon trois axes X, Y et Z. Bien que l'accélération linéaire soit définie en m/s2 (la gravitation terrestre, soit environ g = 9,81 m/s2).

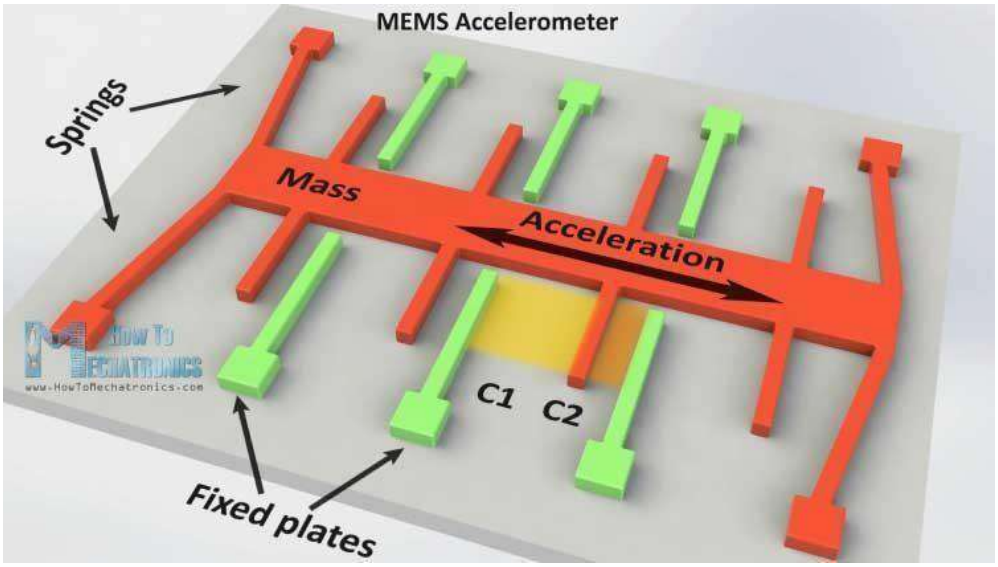


Figure II.10: La microstructure de l'accéléromètre.

Le principe de la plupart des accéléromètres est basé sur la loi fondamentale de la dynamique F = m·a (F : force (N), m : masse (kg), a : accélération (m/s2) aussi notée γ). Plus précisément, il consiste en l'égalité entre la force d'inertie de la masse sismique du capteur et une force de rappel appliquée à cette masse. [12].

L'accéléromètre du mpu 6050 basé sur l'effet piézo-électrique. Ici, imaginez une boîte parallélépipédique, ayant une petite boule à l'intérieur, comme dans l'image ci-dessus. Les murs de cette boîte sont fabriqués avec des cristaux piézo électriques. Chaque fois que vous inclinez la boîte, la balle est forcée de se déplacer dans le sens de l'inclinaison, en raison de la gravité. Le mur avec lequel la balle entre en collision, crée minuscules piézo courants électriques. Il y a au total trois paires de parois opposées dans un parallélépipède. Chaque paire correspond à un axe dans l'espace 3D: X, Y et Z axes. En fonction du courant produit à partir des parois piézo électriques, on peut déterminer la direction d'inclinaison et de sa grandeur.[29]

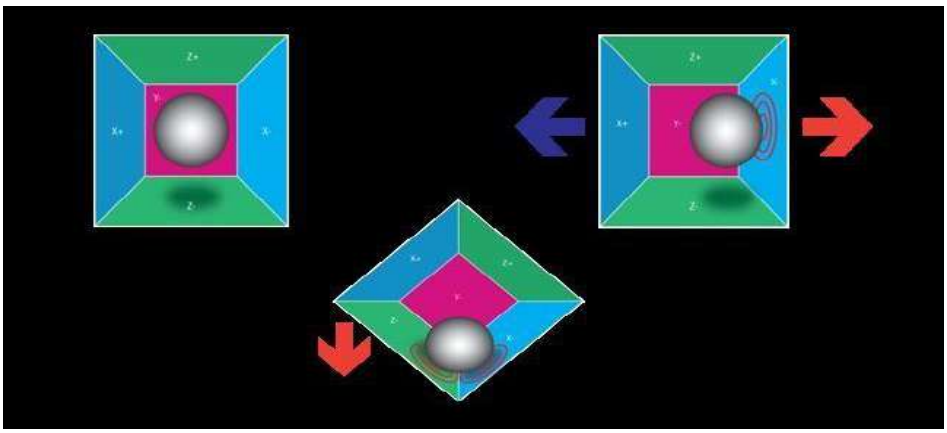


Figure II.11: Accéléromètre Piezo Electric

Caractéristiques Accéléromètre :

- Digital-output triple-axis accéléromètre avec une plage programmable à pleine échelle ±2g, ±4g, ±8g et ±16g

- tolérance de calibration : ±3%

- interface de communication : I2C

Avantages des capteurs MEMS:

Actuellement les capteurs MEMS sont dépassés en termes de précisions par les capteurs optiques. Toutefois ils sont les plus utilisés dans les applications courantes (car bas coût). Les principaux avantages des capteurs MEMS sont [13] :

- Dimensions réduites

- Faible poids

- Faible consommation de puissance

- Court temps de démarrage ;

- Production peu coûteuse (à grande échelle)

- Fiabilité élevée ;

- Entretien réduit

- Compatibles avec des opérations dans les environnements hostiles

Le contrôleur des moteur L293D:



Figure II.12 : contrôleur des moteur L293D

DESCRIPTION :

Ce " breakout board " est un **Double Pont-H destiné au contrôle de moteur continu** (H-Bridge Motors Driver). Il est basé sur le composant L293D qui est un double Pont-H conçu spécifiquement pour ce cas d'utilisation. C'est un module extrêmement utile pour le contrôler de robots et ensembles mécanisés. Il peut contrôler deux moteur courant continu ou un moteur pas-à-pas 4 fils 2 phases. il est conçu pour supporter des tensions plus élevées, des courants importants tout en proposant une commande logique TTL (basse tension, courant faibles, idéal donc pour un microcontrôleur), il peut piloter des charges inductives comme des relais, solénoïdes, moteurs continus et moteurs pas-à-pas.

Les deux types de moteurs peuvent être contrôlés aussi bien en vitesse (PWM) qu'en direction. Toutes les sorties en puissance sont déjà protégées par des diodes anti-retours.
Il s'agit d'un module prêt à l'emploi. [14]

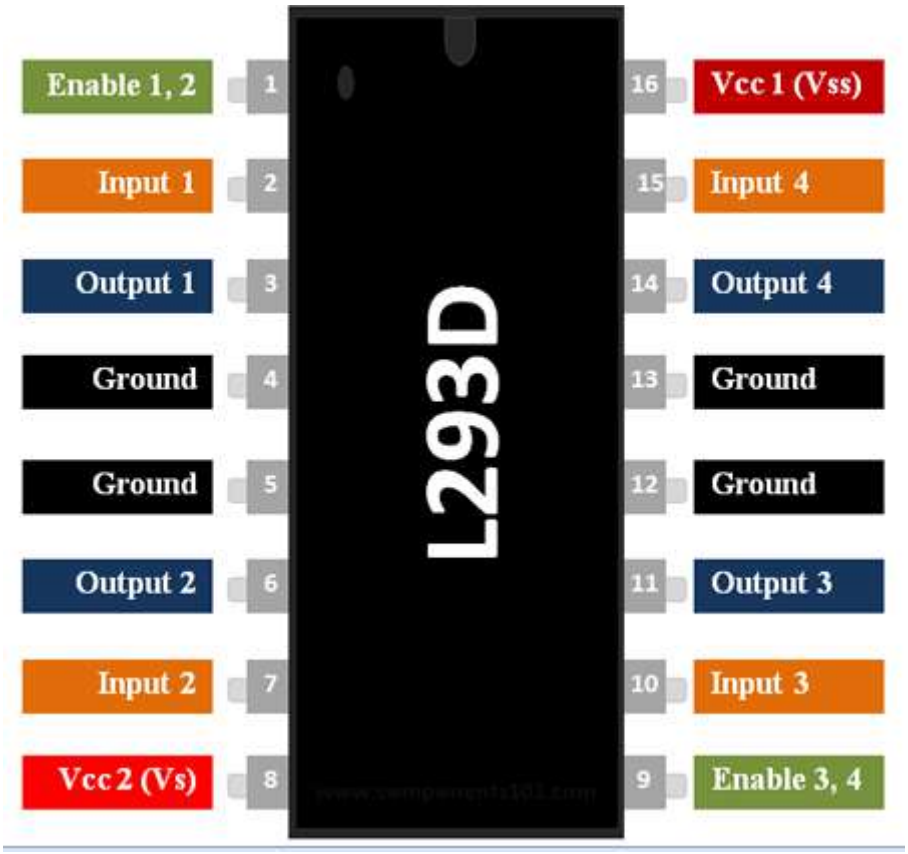


Figure II.13 : description des pins de contrôleur

Le Principe de fonctionnement du pont en H

Le pont en H peut être symbolisé par une structure à quatre interrupteurs ouverts au repos (**Figure II.14**). Dans ce cas, la tension aux bornes du moteur est nulle. Pour mettre en rotation le moteur il suffit de fermer un couple d'interrupteurs et de laisser les deux autres au repos. Le moteur est donc alimenté avec la tension UM=VCC.

Pour modifier le sens de rotation, il suffit de permuter le couple d'interrupteurs fermés et ouverts. On aura donc UM= - VCC. [11]

Le L293D est un module qui dispose de 2 hacheurs 4-quadrants dans un circuit intégré de type Multi watt.

Le hacheur est un convertisseur statique continu-continu permettant de fabriquer une source de tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe.

Il reçoit les signaux de commande PWM (*Pulse Width Modulation*) ou MLI (*Modulation de Largeur d'Impulsion*) issus de l'Arduino. Selon le rapport cyclique de ces signaux, le hacheur délivre la tension adéquate.

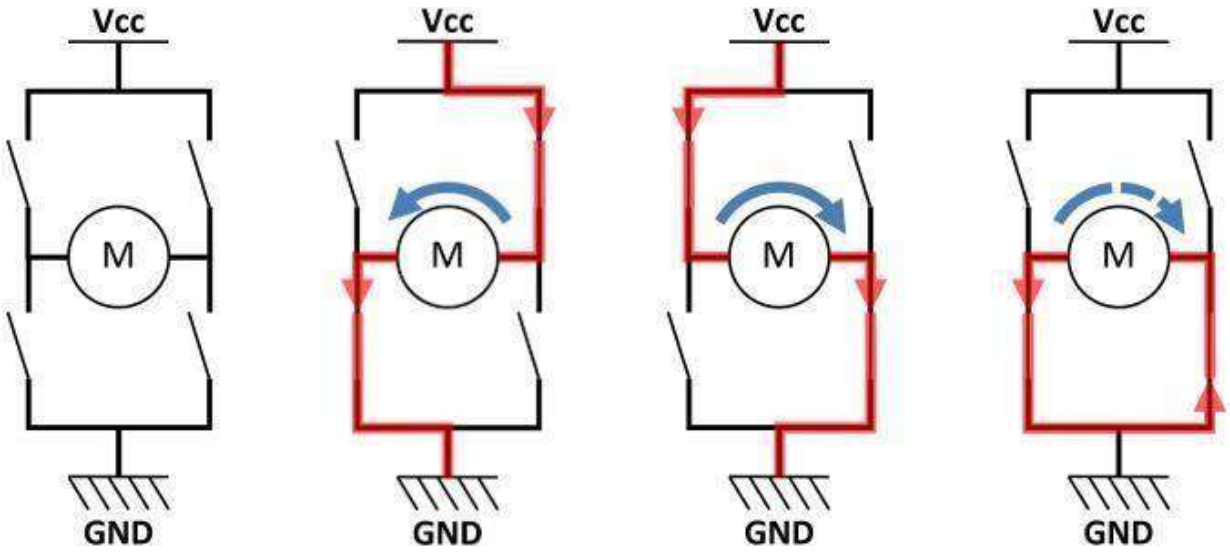


Figure II.14: Schéma de principe de fonctionnement du pont H.

Caractéristiques du L293D :

Les caractéristiques	Les spécifications
Léger, petit	Alimentation de la charge : de +4.5V à+36V
Des capacités hors-pair pour contrôle moteur	Courant Max (en pointe):4A
4 Sélecteurs pour les résistances pull up	Tensions pour contrôle "Enable":Low - 0.3V~1.5V, high:2.3V~Vss
Un sélecteur pour sélectionner la source D'alimentation	Puissance Max : 25W (Température 75 °C)
Un dissipateur (pour dissiper la chaleur en cas de forte charge)	Température de fonctionnement : de -40°C à+150°C

Dans notre micro drone ne besoins pas les 2 sens mais l'importance dans le PWM qu'il fait contrôlé la vitesse, donc on peut placer 2 moteur dans le pont H, dans le l293D il ya 2 pont H . C'est à dire le l293D permet de contrôlé vitesse du 4 moteur coreless dans un sens.

PWM

Le PWM est un signal numérique, donc la tension peut prendre deux valeurs seulement. Dans certains cas très spécifiques (onduleurs à MLI par exemple) on fabrique un troisième niveau en inversant la tension du niveau haut. Le signal est carré. Le niveau bas correspond généralement à 0 Volt. La période est notée T ; la durée de l'impulsion (pour laquelle la tension est celle de l'état haut) est appelée th [15].

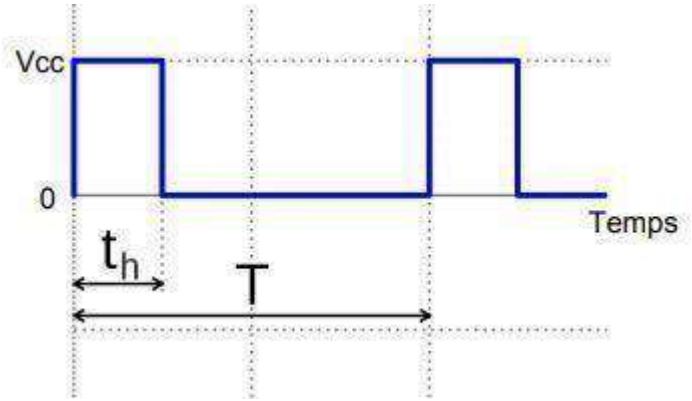


Figure II.15: signal carré

Et on peut contrôler le signal carré par L'Arduino

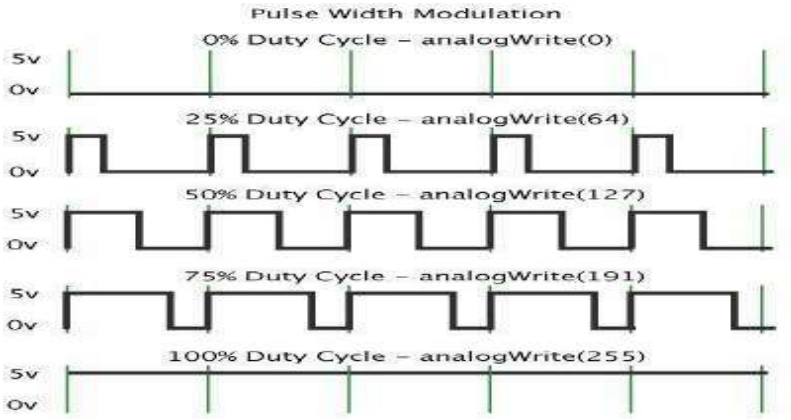


Figure II.16: pourcentage d'un signal carré

Le convertisseur boost :

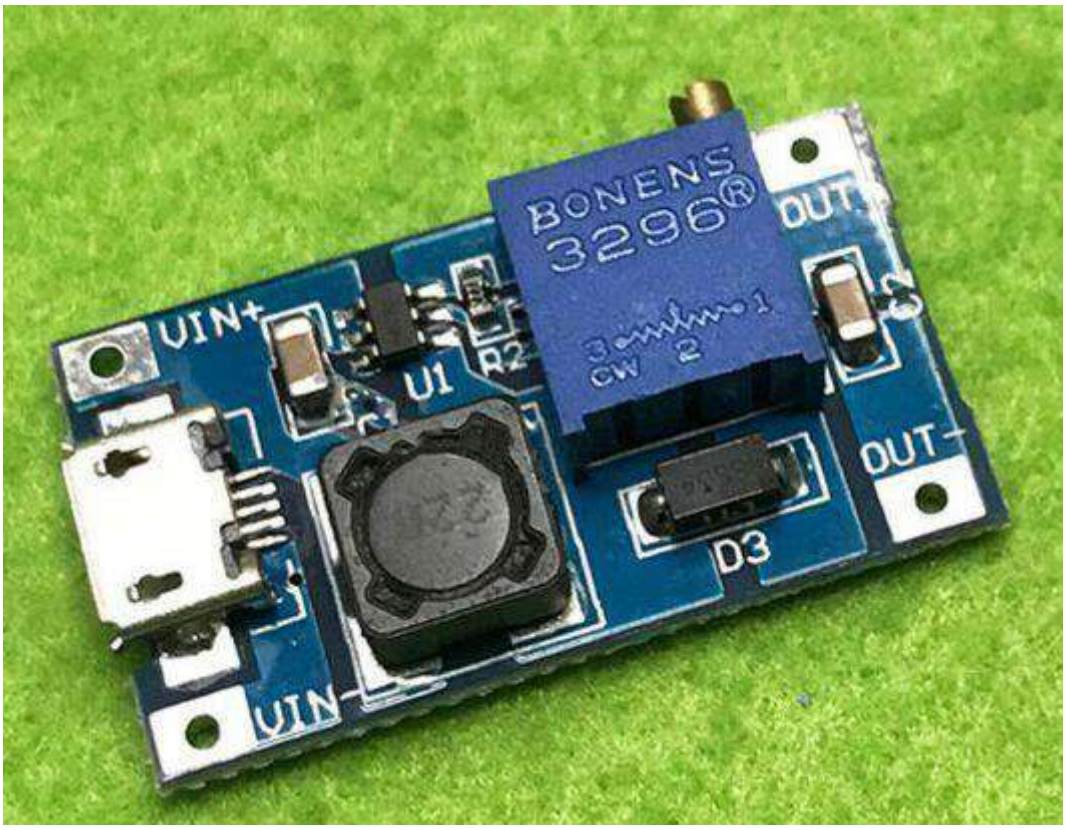


Figure II.17 : l'hacheur boost

C'est un hacheur parallèle capable a converti une tension continu-continu a une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. La tension continue de départ peut être un réseau alternatif redressé et filtré, une batterie d'accumulateurs, une alimentation stabilisée…

On distingue deux types de convertisseurs continu-continu. Ceux qui sont non isolés, que l'on appellera hacheurs, et ceux qui comportent un transformateur assurant l'isolation galvanique, que l'on appelle alimentations à découpage (cas des alimentations de PC…). Par la suite, nous n'étudierons que les premiers [17].

On utiliser ce modèle qui est dans la figure II.15

Caractéristique [18] :

- ✓ Le module a une puissance de sorite et une efficacité élèves (jusqu'à 96.7%).
- ✓ La sortie peut atteindre 75W.
- ✓ Sortie grande puissance.
- ✓ Haute efficacité (96.7%).

- ✓ Tension de travail large.
- ✓ Tension entree 2-22v.
- ✓ Tension sortie 5-28v.
- ✓ La puissance de sortie atteint 75 W.

Lorsque la tension d'entrée et de sortie est supérieure à 20 V, elle peut être obtenue lorsque la puissance de sortie de 128 W.



Figure II.18 l'hacheur boost **(plus d'etaille)**

Input + : entrée Positive

Input- : entrée négative

OUT + : sortie Positive

OUT- : sortie négative

Circuit de command ARDUINO (PRO MICRO) :

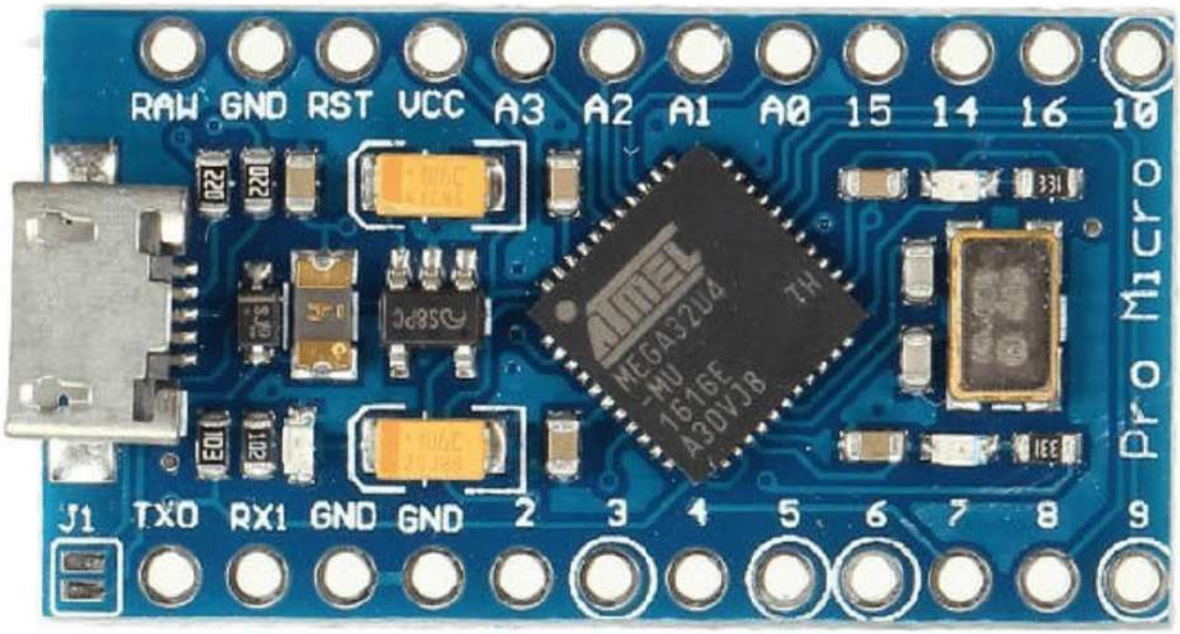


Figure II.19: Arduino pro micro

ARDUINO est une plateforme matérielle et logicielle de développement d'applications embarquées. Côté matériel, elle se compose d'une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur (ATMEL AVR) comportant un certain nombre d'entrées et de sorties (les ports) permettant la connexion de capteurs, ou d'actionneurs. Le logiciel de programmation des modules ARDUINO est une application Java, libre et multi- plateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison USB. Le langage de programmation utilisé est un mélange de C et de C++, restreint et adapté aux possibilités de la carte. [19]

ARDUINO PRO MICRO :

Le Pro Micro est un microcontrôleur compatible Arduino avec un ATmega32U4 à bord. L'émetteur-récepteur USB à l'intérieur du 32U4 nous permet d'ajouter une connectivité USB à bord et de supprimer une interface USB externe encombrante. **[20].**

Cette toute petite carte fait toutes les astuces Arduino avec lesquelles vous êtes familier: 4 canaux d'ADC 10 bits, 5 broches PWM, 12 DIO ainsi que des connexions série matérielles Rx et Tx. Fonctionnant à 16 MHz et 5 V, cette carte vous rappellera beaucoup de vos autres cartes compatibles Arduino préférées, mais ce petit gars peut aller à peu près n'importe où. Il y a un régulateur de tension à bord afin qu'il puisse accepter une tension jusqu'à 12VDC. Si vous fournissez une alimentation non régulée à la carte, assurez-vous de vous connecter à la broche «RAW» et non à VCC. **[20].**

Cette dernière révision corrige l'erreur de soie de la dernière version de la carte afin que la broche 14 soit correctement étiquetée. Nous avons également ajouté un fusible PTC et une protection de diode au circuit d'alimentation et corrigé le circuit des LED RX et TX. **[20].**

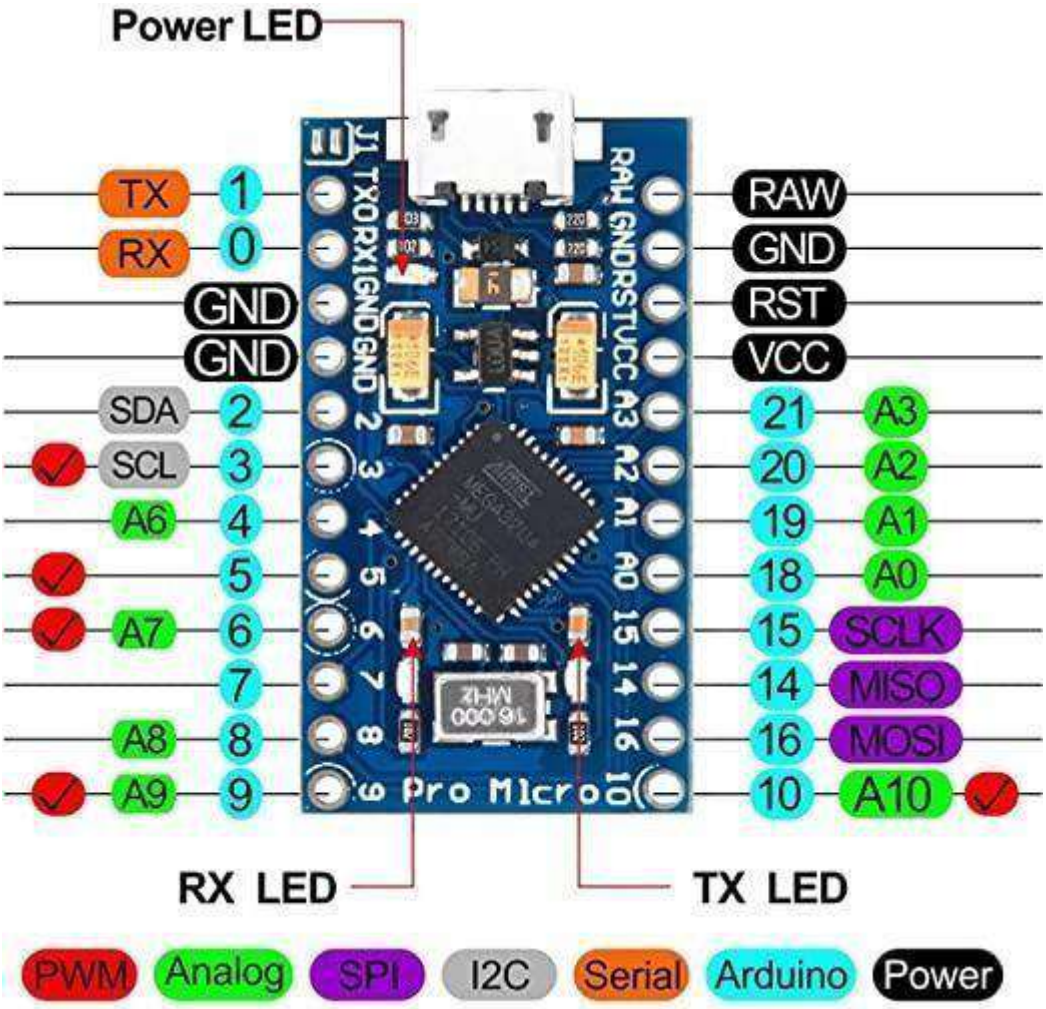


Figure II.20 : les entres et les sortie D'Arduino pro micro

Programmation de la carte ARDUINO (IDE) :

Le logiciel ARDUINO a pour fonctions principales :

- De pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte ARDUINO

- De se connecter avec la carte ARDUINO pour y transférer les programmes

- De communiquer avec la carte ARDUINO

L'interface de programmation L'interface de programmation du logiciel ARDUINO est la suivante :

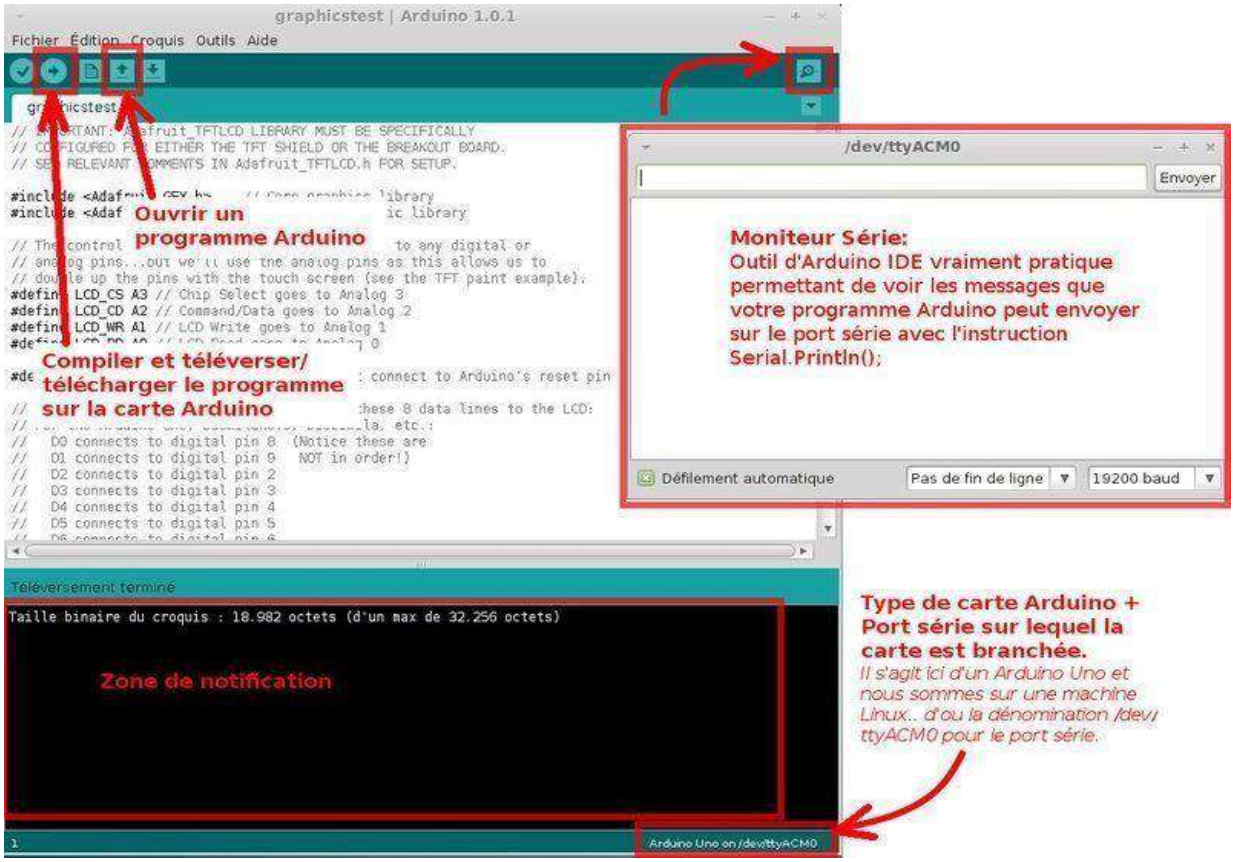


Figure II.21 : l'interface IDE

La batterie :

C’est la source d’énergie de votre drone elle 3.7v



Figure II.22 : La batterie de lithium 3.7v

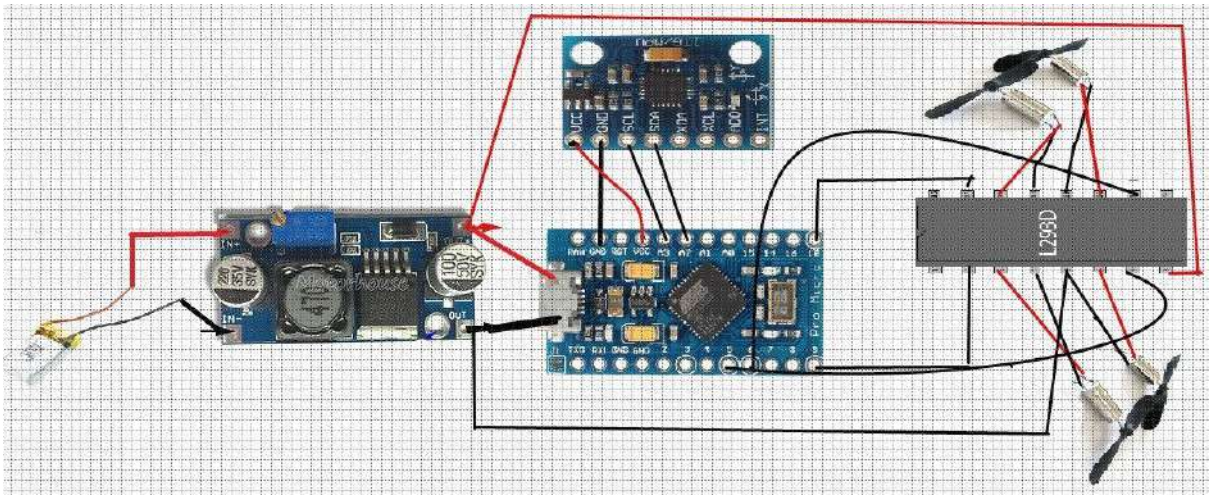


Figure II.23 : Branchement de circuit.

4 Conclusion :

On a exposé les deux descriptions fondamentales de notre micro drone avec le circuit de commande.

Premièrement, la description mécanique qui fait appel à une description de tous partie, cela nous a conduit à citer les matériaux utilisés et leurs critères qui permettent non seulement la réalisation de notre projet mais encore son bon fonctionnement avec les actionneurs utilisés. Un détail sur chaque compensant est ajouté à la fin de cette première description.

La deuxième partie de ce chapitre est la description électronique, elle parle de circuit d'alimentation du micro drone et le circuit de commande qui détaille les différents composants de la carte électrique et le fonctionnement de chaque une avec les capteurs utilisés, nous terminera ce chapitre par l'Arduino (pro micro) qui est le cœur de la commande.

Chapitre III : Principe de fonctionnement d’un micro drone

La figure ci-dessous représente une photo de notre micro drone. C'est un engin omnidirectionnel à décollage vertical et à atterrissage vertical (VTOL) capable de faire des vols stationnaires. Il est constitué de quatre pales à pas fixe accouplées à des moteurs à courant continu (coreless motor).



Figure III.1 : Vue globale de notre micro drone

1 Sens de rotation des voilures tournantes.

Afin d'éviter un mouvement de lacet (l'appareil tourne sur lui-même), il est nécessaire que deux rotors tournent dans un sens et que les deux autres tournent dans l'autre sens. En plus, pour diriger l'appareil, les rotors tournant dans le même sens doivent être placées l'un en face de l'autre (figure III.2). De plus, pour faciliter la gestion des commandes et les calculs, le rotor numéro 1 est choisi comme l'avant du micro hélicoptère.

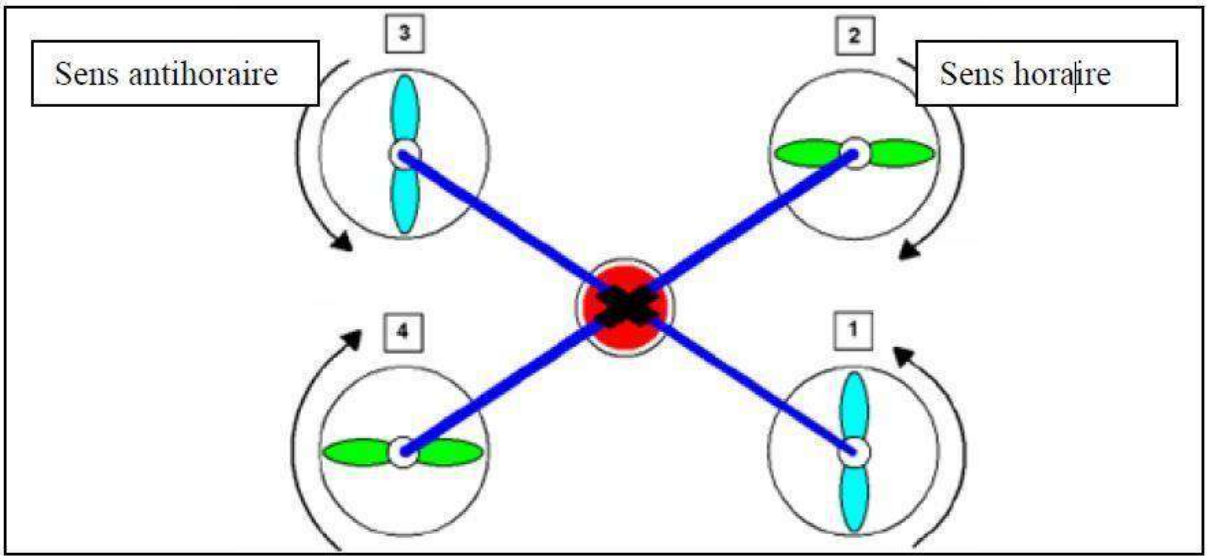


Figure III.2 : Sens de rotation des rotors du micro drone

2 Mouvements possibles

Il existe quatre mouvements possibles pour un quadrirotor : la poussée, le lacet, le Tangage et le roulis. Le mouvement de correspond à la montée ou à la descente de l'appareil. Pour faire s'élever le quadrirotor, il suffit d'augmenter la vitesse des quatre moteurs et pour le Faire redescendre, il faut réduire cette dernière.

Le Lacet

La rotation autour de l'axe z est appelée lacet en aéronautique. Lorsque les moteurs tournent à vitesse égale le couple d'anti-rotation est nul et l'hélicoptère ne tourne pas. Pour modifier l'angle de lacet, il faut faire varier la vitesse de rotation sur le couple d'hélices un et trois ou deux et quatre en fonction de l'angle désiré sur le lacet (Figure III.3).

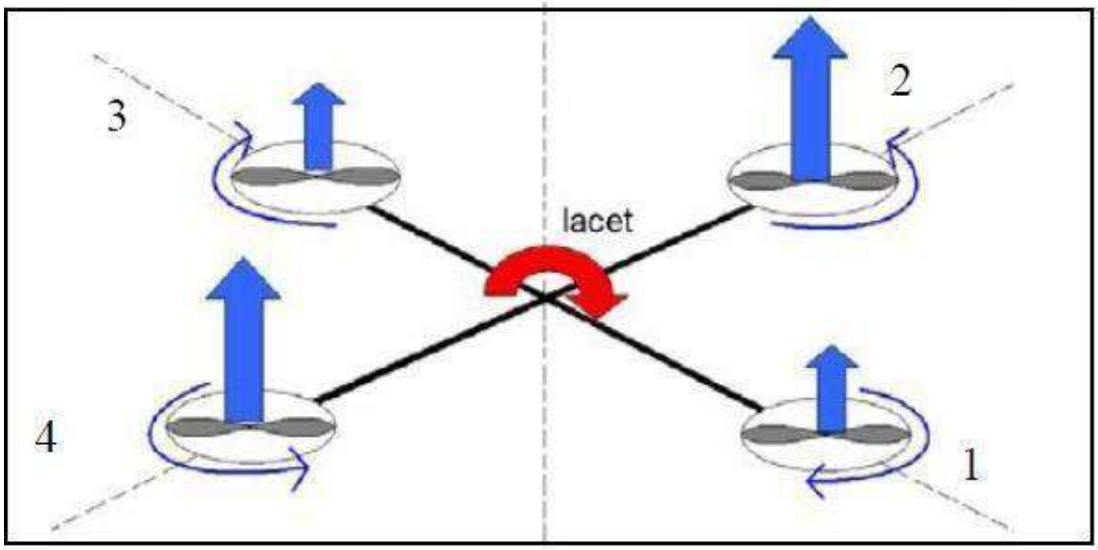


Figure III.3 : Mouvement de lacet

En effet, lorsque l'on projette les forces aérodynamiques exercées par l'air sur la pale, on s'aperçoit qu'un rotor a toujours tendance à faire tourner le micro hélicoptère dans le sens inverse de sa rotation.

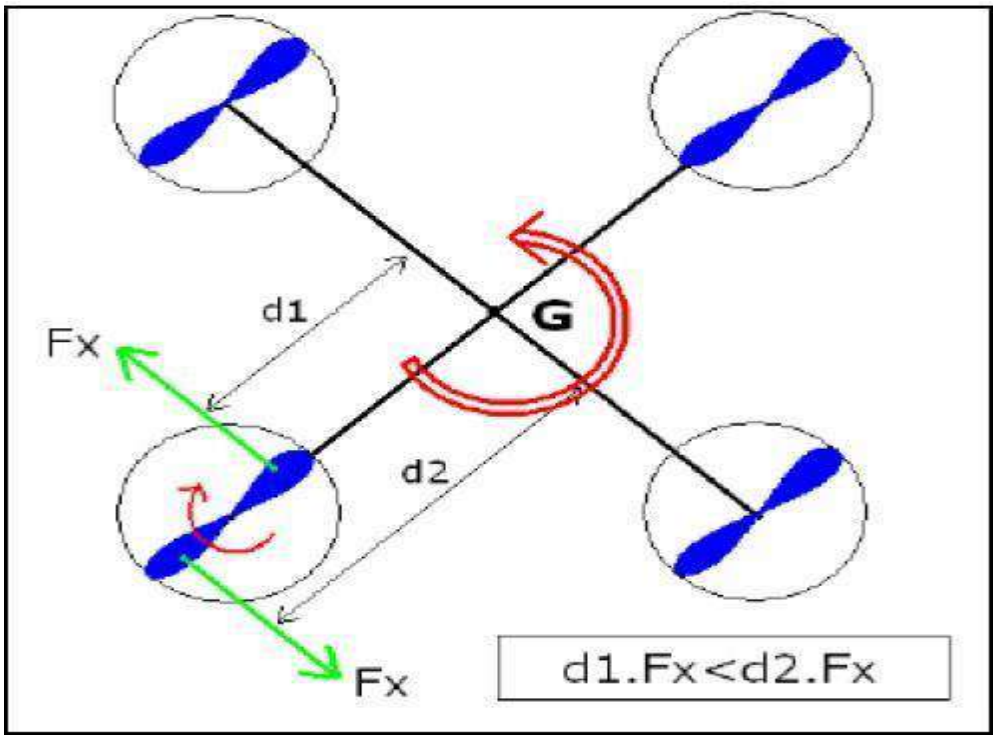


Figure III.4 : *Forces aérodynamiques.*

Le Tangage et le Roulis :

Le roulis et le tangage sont des mouvements qui provoquent l'inclinaison du quadrirotor selon les axes horizontaux (Figure III. 5). Ces mouvements peuvent être assurés par le drone, en agissant sur la vitesse de l'un des quatre moteurs, est par conséquence sur la force des rotors.

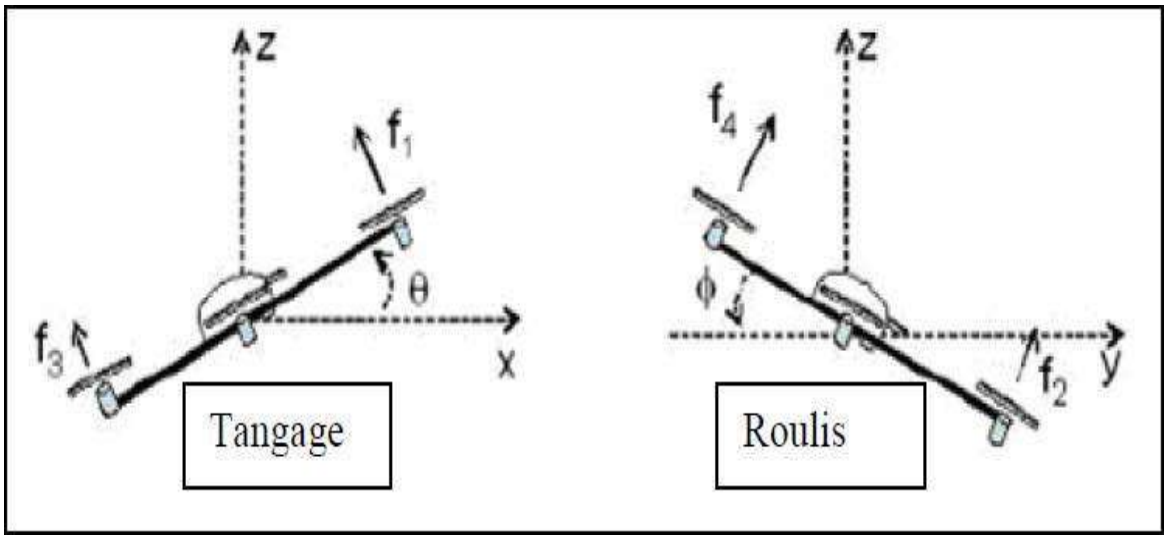


Figure III.5 : *Tangage et Roulis*

La rotation autour de l'axe y est appelée tangage en aéronautique. Une variation de l'angle de tangage est obtenue grâce à une différence de vitesse entre le moteur un, ettrois (Figure III.6).

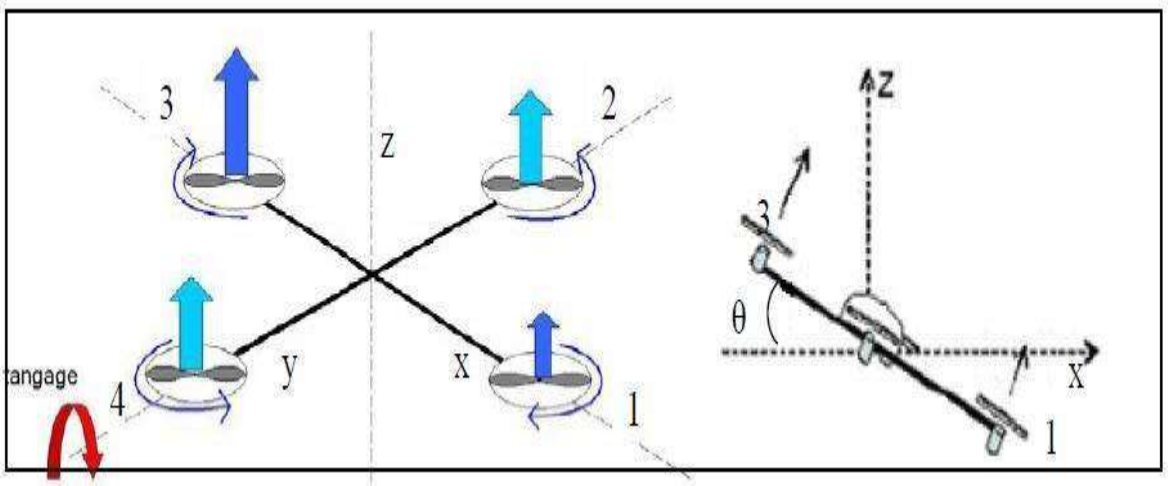


Figure III.6 : *Mouvement de Tangage*

En aéronautique, la rotation autour de l'axe x est appelée roulis. Une variation de
L'angle de roulis est obtenue grâce à une différence de vitesse entre le moteur deux, et quatre (Figure III.7).

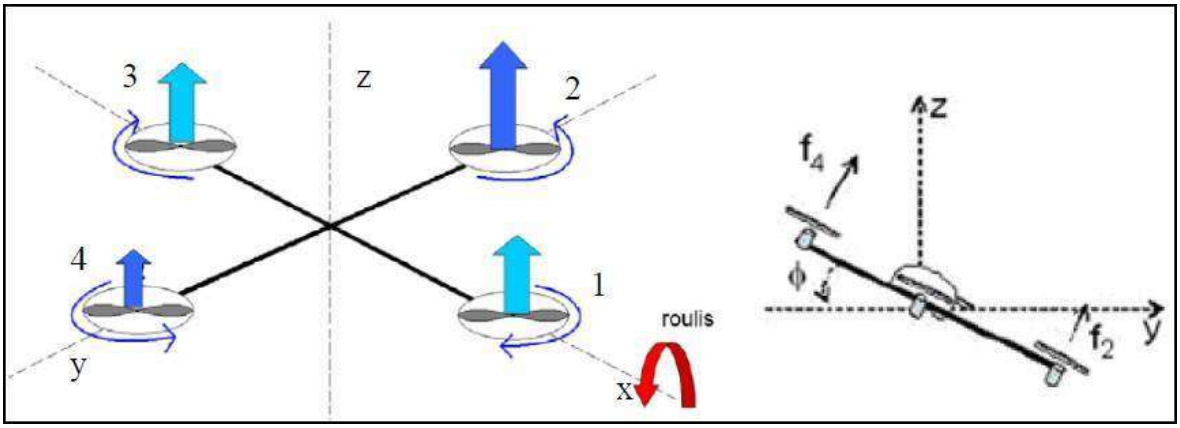


Figure III.7 : *Mouvement de Roulis*

3 Mode de vol

En se basent sur les mouvements possibles, le drone peut effectuer trois modes de vol :

- vol vertical.
- vol stationnaire.

Vol vertical

Dans le vol vertical, la résultante aérodynamique et le poids totale sont deux forces
Ayants la même direction mais de sens opposé [21]. L'hélicoptère peut monter ou descendre,
Suivant l'effet aérodynamique soit supérieur ou inférieur au poids de l'appareil [22].

Vol stationnaire

Quand la force de Portance, et celle de pesanteur sont égales et opposées,
L'hélicoptère reste immobile. On parle de vol stationnaire [22].

Vol de translation

Le vol de translation correspond à la navigation de l'hélicoptère sur un plan
Horizontal. Il est assuré en se basant sur les mouvements d'inclinaison tangage, et roulis. [22]

4 Conclusion

Dans ce chapitre une description du principe de fonctionnement du drone quadrirotor est présentée avec une description détaillée sur ses mouvements possibles.

Chapitre IV : Stabilisation du drone sur les trois axes de l’acet tangage et roulis

Le drone est piloté grâce à quatre commandes : la puissance (qui permet de contrôler L'altitude), le roulis, le tangage et de lacet. Ces commandes sont ensuite envoyées aux différents moteurs. La commande de puissance est envoyée à tous les moteurs, tout comme le Lacet. Le tangage et le roulis sont obtenus en contrôlant seulement deux moteurs (1 et 3 pour Le tangage et 2 et 4 pour le roulis).

Le sous-système micro drone comprend les équations mécaniques qui modélisent la dynamique du système. Les correcteurs implémentés sont des correcteurs Proportionnel Intégral Dérivé (PID).

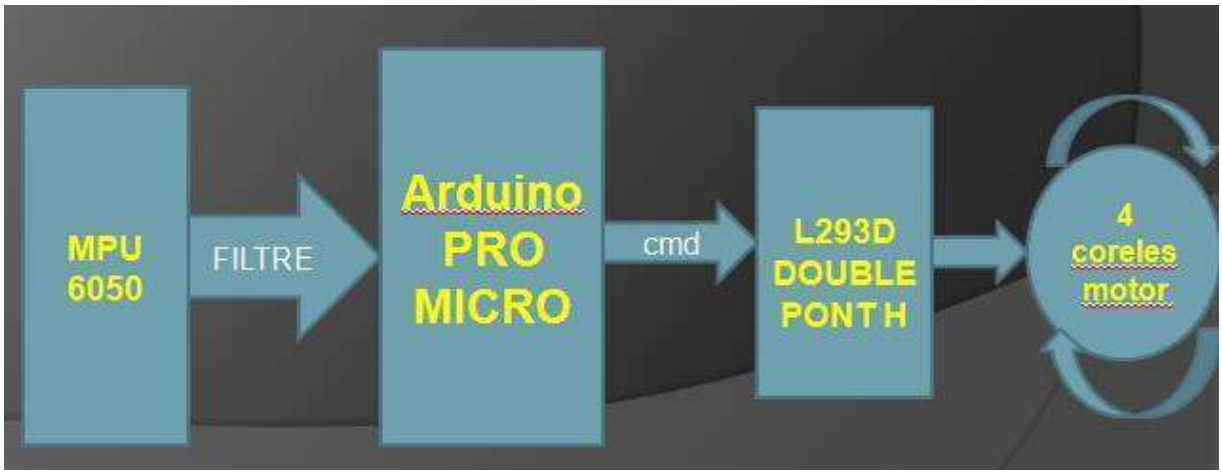


*Figure IV.**1** :* Schéma synoptique de la commande

1 Les équations d'état du micro drone :

Le modèle obtenu dans le chapitre précédent, décrit les équations de notre système.

Pour l'étude de contrôle, ou de l'asservissement, il est indispensable de réécrire notre système Sous forme d'équation d'état, pour l'incorporer dans une boucle de contrôle.

Puisque notre système est non linéaire, on peut réécrire les équations du modèle Dynamique sous forme d'équation d'état $\dot{X} = f(X, U)$

Où U est le vecteur d'entrées, et X est le vecteur des états choisi comme :

$$X = [\phi \quad \dot{\phi} \quad \theta \quad \dot{\theta} \quad \psi \quad \dot{\psi} \quad z \quad \dot{z} \quad x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y}]^T \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned} x_1 &= \phi & x_7 &= z \\ x_2 &= \dot{x}_1 = \dot{\phi} & x_8 &= \dot{x}_7 = \dot{z} \\ x_3 &= \theta & x_9 &= x \\ x_4 &= \dot{x}_3 = \dot{\theta} & x_{10} &= \dot{x}_9 = \dot{x} \\ x_5 &= \psi & x_{11} &= y \\ x_6 &= \dot{x}_5 = \dot{\psi} & x_{12} &= \dot{x}_{11} = \dot{y} \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$U = [U_1 \quad U_2 \quad U_3 \quad U_4] \tag{3.3}$$

Où les entrées sont choisi tels que :

1 U : est la commande de la puissance.

2 U : est la commande du roulis.

3 U : est la commande du tangage.

4 U : est la commande du lacet.

$$\begin{cases} U_1 = b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ U_2 = b(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\ U_3 = b(\Omega_1^2 - \Omega_3^2) \\ U_4 = d(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \end{cases} \tag{3.4}$$

Dans des conditions de vol stationnaire et en négligeant les perturbations dans le vol Vertical, on pourra dire que les vitesses angulaires du quadrirotor sont égales aux dérivés des Angles d'Euler) [23].

En se basant sur le modèle décrit dans le chapitre précédent, et les équations (3.1), Et (3.3) on peut écrire :

$$f(X,U)=\begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta}\dot{\psi}a_1+\dot{\theta}a_2\Omega_r+b_1U_2 \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi}\dot{\psi}a_3-\dot{\phi}a_4\Omega_r+b_2U_3 \\ \dot{\psi} \\ \dot{\theta}\dot{\phi}a_5+b_3U_4 \\ \dot{z} \\ g-(\cos\phi\cos\theta)\frac{1}{m}U_1 \\ \dot{x} \\ u_x\frac{1}{m}U_1 \\ \dot{y} \\ u_y\frac{1}{m}U_1 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Avec :

$$
\begin{aligned}
a_1 &= (I_y - I_z) \\
a_2 &= J_r / I_x \qquad & b_1 &= l / I_x \\
a_3 &= (I_z - I_x) / I_y \qquad & b_2 &= l / I_y \\
a_4 &= J_r / I_y \qquad & b_3 &= l / I_z \\
a_5 &= (I_x - I_y) / I_z
\end{aligned}
\tag{3.6}
$$

$$
\begin{aligned}
u_x &= (\cos\phi \sin\theta \cos\psi + \sin\phi \sin\psi) \\
u_y &= (\cos\phi \sin\theta \sin\psi - \sin\phi \cos\psi)
\end{aligned}
\tag{3.7}
$$

On remarque bien, que les angles d'Euler, et leurs dérivées temporelles sont indépendants des composantes de translation, contrairement au la translations qui dépendent des angles d'Euler. On pourra donc diviser notre système, en deux sous-systèmes :

- Sous-système des rotations angulaires.
- Sous-système des Translations linéaires.

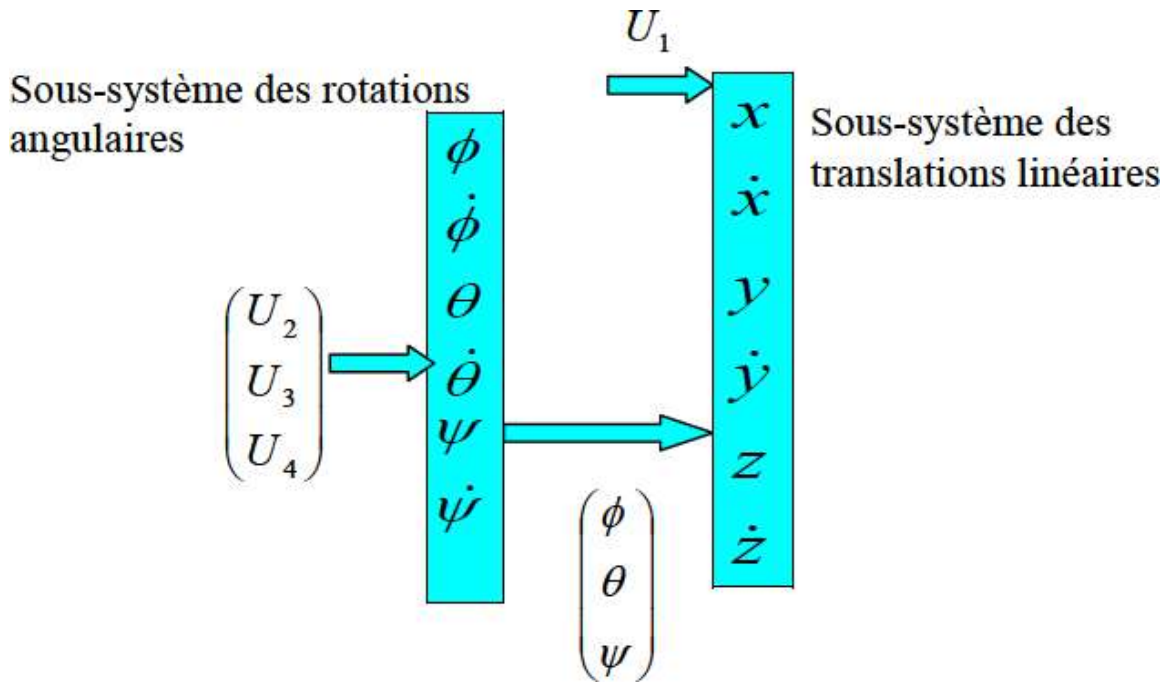


*Figure IV.**2** : Rotation angulaire, et translation linéaire.*

2 Application du correcteur PID

Le PID est un correcteur utilisé en automatique afin de stabiliser des systèmes mécaniques. Afin d'appliquer un PID, on observe l'écart entre la valeur autour de laquelle on veut stabiliser, la consigne, et la valeur réelle observée sur le système[22].

. On appelle cet écart l'erreur

• Une action proportionnelle (P) : on applique un gain Kp sur l'erreur.
• Une action intégrale (I) : on intègre l'erreur, et on multiplie le résultat par un gain Ki.
• Une action dérivée (D) : on dérive l'erreur, et on multiplie le résultat par un gain Kd.

Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser un correcteur PID sur les angles de tangage, roulis et lacet.

La Figure IV.2 représente le modèle Simulink, de l'ensemble système correcteur PID.

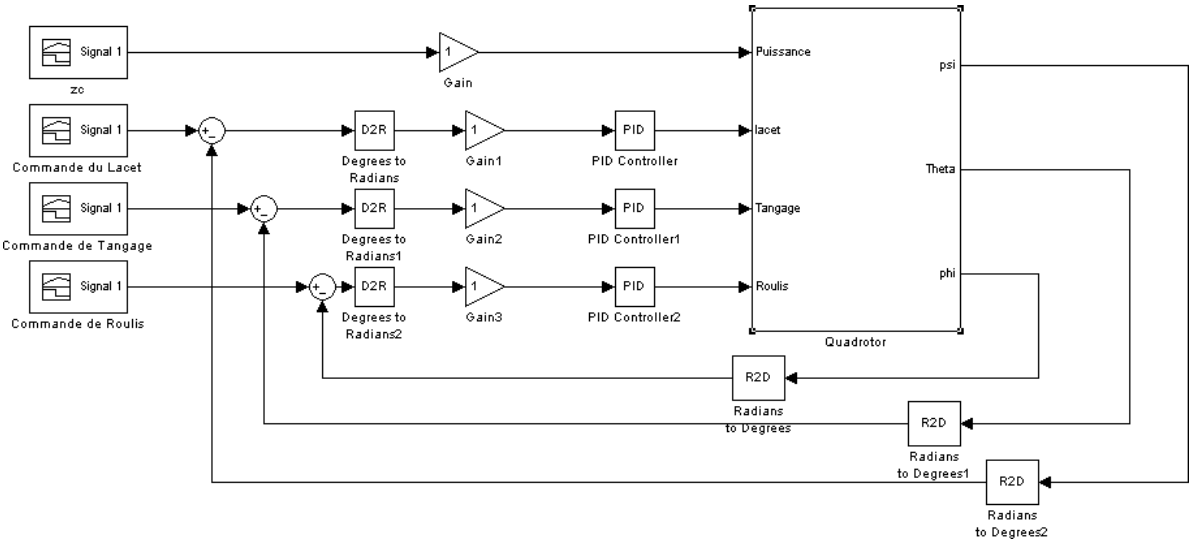


*Figure IV.**3:** Schéma du modèle Simulink avec correcteurs PID.*

Les quatre entrées (puissance, lacet, tangage et roulis) sont recombinées pour donner les commandes en tension des moteurs.

Ces résultats ne sont intéressants que très proche de la position d'équilibre (roulis,tangage et lacet, proche de zéro). Mais dans le cas d'une orientation initiale lointaine de l'état d'équilibre, la régulation par PID ne peut pas stabiliser le système qui est non linéaire. Il devient instable.

3 Résultats obtenus

Une fois la modélisation terminée, nous avons donc pu faire des tests (essais et erreurs) pour déterminer les coefficients du PID, et voici les meilleurs résultats que nous avons pu obtenir en simulation :

Dans l'ordre des figures (*Figure 3.3*), (*Figure 3.4*), et (*Figure 3.5*), on peut observer la réponse en roulis, tangage et lacet. On peut aussi remarquer que le drone se stabilise en roulis et en tangage en deux secondes environ. Aucune correction n'est faite en lacet.

Les résultats de simulation ont été obtenus en prennent les coefficients de PID, tel que :

(Kp = 0.9, Ki = 0.3, Kd = 0.2) pour la correction des angles de tangage, et roulis.

Et (Kp = 0.06, Ki = 0.3, Kd = 0.02) pour la correction en lacet.

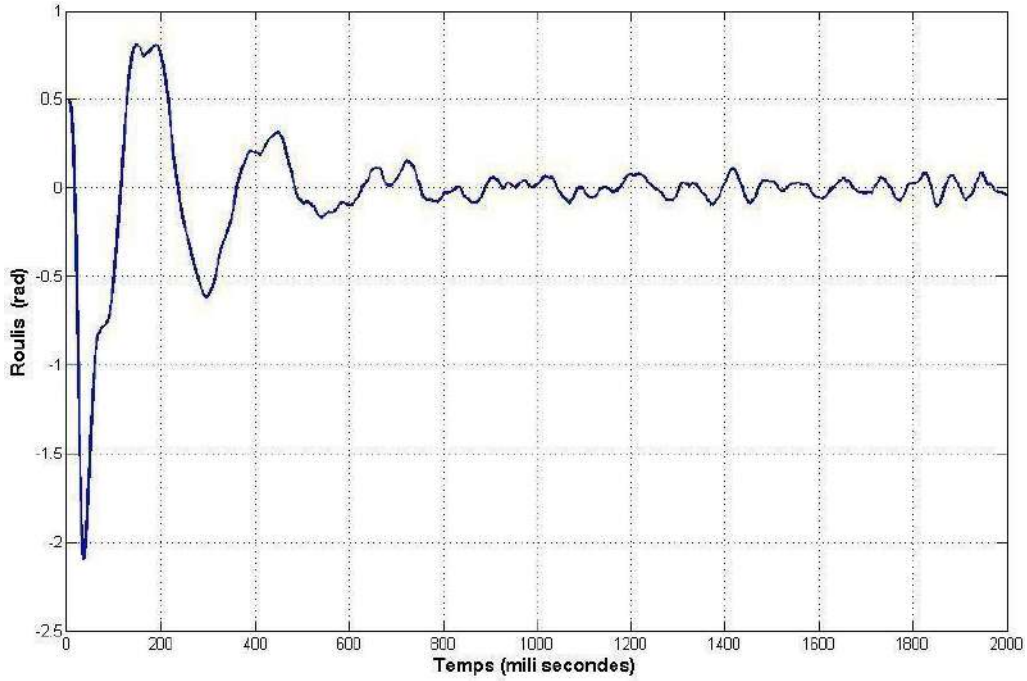


Figure IV.4 : Résultat de simulation : correction PID sur le roulis.

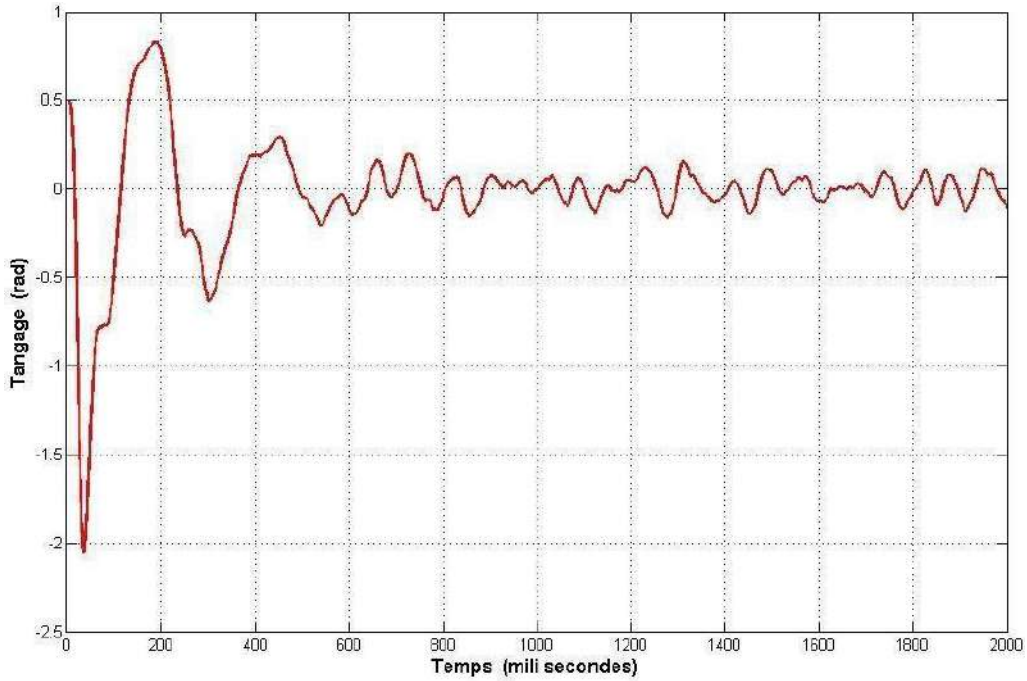


Figure IV.5: Résultat de simulation : correction PID sur le tangage

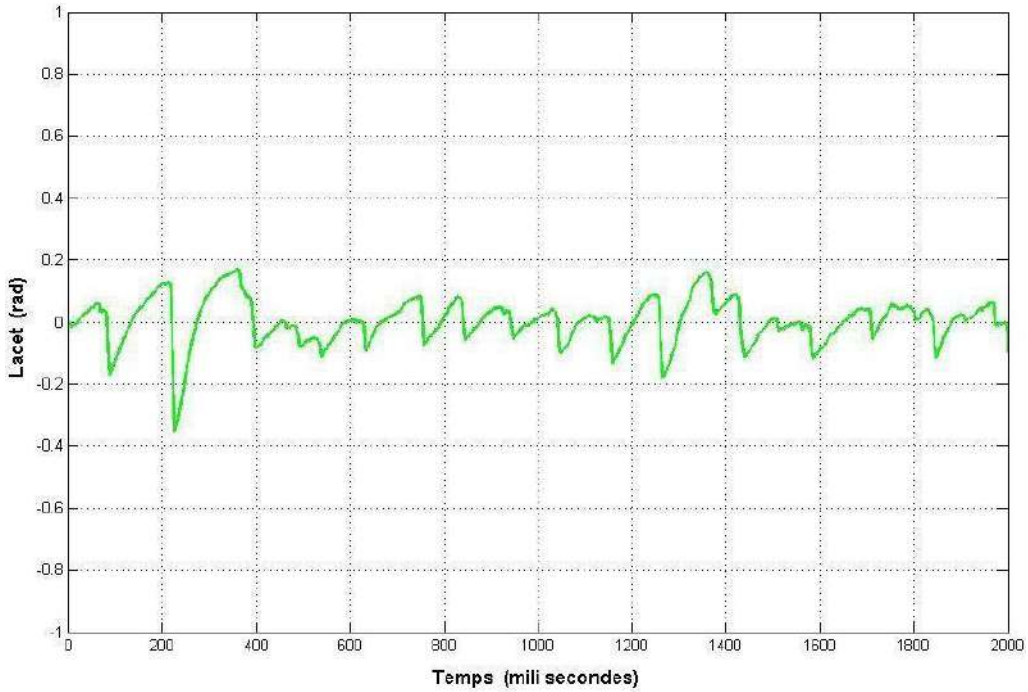


Figure IV.6 :Résultat de simulation : correction PID sur le lacet.

Pour les coefficients de PID (Kp, Ki, Kd) choisis :

Un angle de départ supérieur à 30° pour le tangage ou le roulis ne peut pas être compensé. Par contre le système peut compenser un angle initial de 180° pour le lacet.

Si on place la même condition initiale sur les trois angles .

Le système ne peut pas réguler un angle de plus de 3.29°, pour compenser des conditions initiales loin du point d'équilibre, Il faut un gain important mais un gain trop grand va faire entrer les moteurs en saturation.

Ainsi, le fait d'avoir un seul et même régulateur pour tous les états du système est un problème puisque le gain doit être suffisamment élevé pour que le quadrirotor se stabilise rapidement sans toutefois faire saturer les moteurs. De plus, chaque angle est contrôlé séparément et on ne tient donc pas compte dans la commande des effets de couplages gyroscopiques.

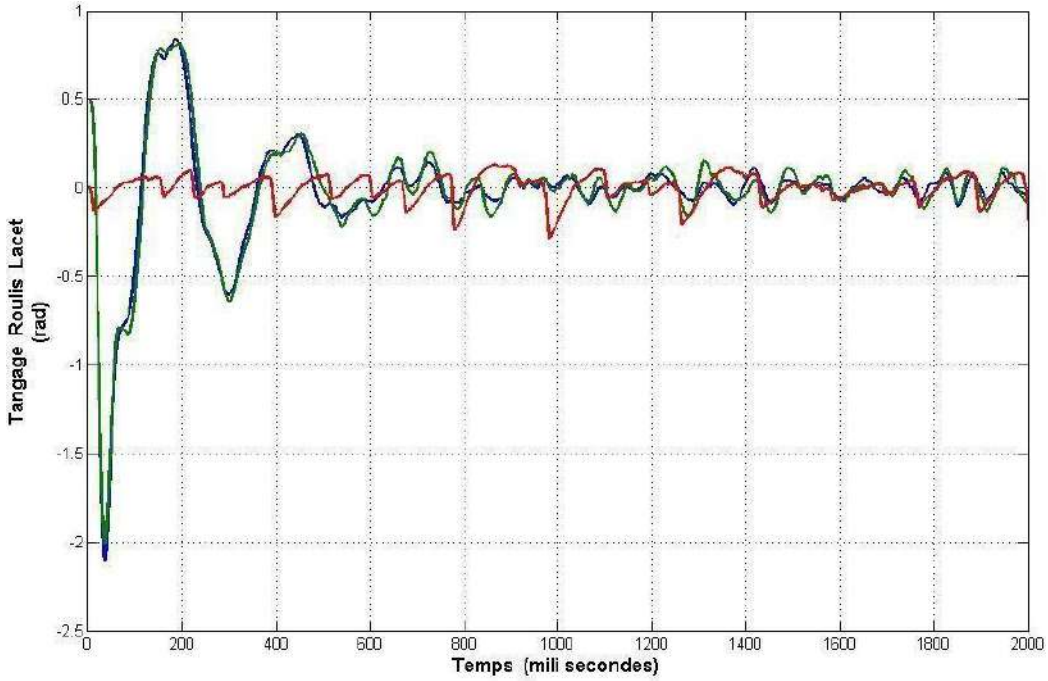


Figure IV.7 : stabilisation des angles d'Euler du quadrirotor(par PID).

4 La techniques de régulation

Le systèmes de régulation donnent des résultats satisfaisants en simulation. Ils sont tous assez rapides et efficaces proches de l'équilibre. Ils ne peuvent pas compenser des conditions initiales d'angles trop importantes sur le tangage et roulis.

La régulation par PID à l'avantage d'être plus facile à régler ; une régulation par PID est beaucoup plus intuitive. Elle est aussi plus facile à mettre en oeuvre sur un système réel car la programmation d'un régulateur PID par microcontrôleur est plus simple.

En revanche, la stabilisation par retour d'état avec une commande linéaire quadratique possède l'avantage de minimiser les commandes. Elle permet donc de diminuer l'amplitude des commandes, plus les commandes sont faibles, plus on évitera les problèmes de saturation.

Cette méthode de régulation est donc bien adaptée à tous les objets volants car une amplitude de commande plus faible entraîne des actionneurs de moindres puissances.

5 Conclusion

Dans cette partie une introduction sur la théorie de la dynamique des engins volants est abordée. Un modèle dynamique du quadrirotor est donné, en se basant sur des références bibliographiques des études plus avancé.

Deux commandes ont été étudiées, la commande par un correcteur proportionnelle intégrale dérivé (PID)

Conclusion générale :

Au terme de ce projet, nous pouvons dire que nous avons touché à un nouveau domaine de l'intervention de l'instrumentation, c'est le domaine de l'aéronautique (drones).

Une description des différentes configurations des drones hélicoptères est donnée. Nous proposons aussi des configurations plus modernes réalisées très récemment soit par des chercheurs universitaires, soit par le secteur militaire.

La réalisation pratique de notre quadrotor est divisée en deux parties. Une partie de la description de la structure mécanique, et la réalisation de la carte électroniques.

La stabilisation de notre prototype (quadrotor) n'est pas encore achevée. Pour des questions de temps.

Le quadrotor n'est pas encore contrôlable sur ces axes. La réalisation électronique est aboutie, mais tous les éléments n'ont pas été intégrés sur le centre final, en raison de nos difficultés à stabiliser le drone.

Respectives

Nous proposons dans cette partie diverses possibilités de poursuite du projet. La première étape qui s'impose est l'amélioration de la structure mécanique de notre prototype quadrotor. L'utilisation des moteurs et de nouvelles hélices pourra diminuer la dimension de notre quadrotor, ainsi améliore sa stabilisation.

Une correction plus robuste et plus rigoureuse en lacet. Ensuite, il faudrait stabiliser et asservir le drone quadrotor en position.

Ces deux étapes effectuées, le drone sera viable pour lui appliquer diverses missions.

Difficultés rencontrées

Dans un premier temps, compte-tenu de la nature du projet, il nous a été difficile de déterminer l'ampleur de la tâche. La réalisation d'un drone quadrotor offre de nombreuses possibilités en matière d'applications.

La plus grande difficulté rencontrée lors de ce projet fait la stabilisation du drone. Nous nous sommes longtemps penchés sur le modèle théorique réalisé

Enfin, d'une manière générale nous avons mal estimé la durée à attribuer à certaines tâches, ce qui au final ne nous a pas permis de finir tout ce que nous souhaitions entreprendre.

Bibliographie

[0]. Dossier de presse, Projet Bulle Opérationnelle Aéroterrestre (BOA), 6 juin 2002, ETAS Angers.

[1]. Mesbahi M. and Hadaegh F. Y., “A robust approach for the formation flying of multiple spacecraft”, Proceedings of the European Control Conference ECC’99, Karlsruhe, Germany, Septembre 1999.

[2]. Ousingsawat J. and Campbell M. E., “On-line estimation and path planning for multiple vehicles in an uncertain environment”, International Journal of Robust and Nonlinear Control, Vol. 14, pp. 741–766, 2004.

[3]. Pitt D. M. and Peters D. A., “Theoretical prediction of dynamic inflow derivatives”, Vertica,Vol. 5, No. 1 pp. 21–34, Mars 1981.

[4]. Tsourdos A. and White B. A., “Lateral acceleration control design for an LPV missile model”, Proceedings of the European Control Conference ECC’99, Karlsruhe, Germany. Septembre 1999.

[5].https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/aeronautique-drone-6174/

[6]. S. Bouabdallah.” Design and control of quadrotors with application to autonomous

[7]. Conférence Mieux connaître les drones.

[8]. Direction Cosine Matrix IMU : Theory. William Premerlani and Paul Bizard. Mai2009flying”

[9].site : http://www.electronoobs.com. /

[10]. http://rchobbygaga.over-blog.com/2016/12/le-moteur-brushless-et-le-moteur-coreless.html

[11]. CHABBAR Houria, « Innovation et réalisation d’une solution de géolocalisation combinée à la télécommunication », Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc, Ingénieur d’Etat en systemes electroniques & telecommunications,2014.

[12]. Hazem Zine eddine,« Réalisation d’une alimentation variable SEPIC avec régulation de tension et protection contre surcharge », Université Larbi Ben M’Hidi , Oum El Bouaghi . Génie Électrique,2017.

[13]. Woodman, « An introduction to inertial navigation, » Computer Laboratory, University of Cambridge, United Kingdom 2007.

[14]. Invenses technologies, MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, 2013, [en ligne], date de dernière mise à jour : 19 août 2011 .13 juin 2014.

[15]. robert.cireddu : MODULATION À LARGEUR D'IMPULSIONS /robert.cireddu.free.fr PWM-MLI

[16]. R. Clavel, « Conception d'un robot parallèle rapide à 4 degrés de liberté», Thèse Doctorat N°925, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), 1991.

[17]. K. Kankhunthodl « Instrumentation et régulation en 30 fiches - Dunod ».Ecole

d'ingénieurs de paris .2009

[18]. Hitachi Group,«3FM -4», Hitachi Chemical Energy Technology , 1987 .

[19]. skywodd, « Mesurer une distance avec un capteur à ultrason HC-SR04 et une carte Arduino / Genuino»,Carnet du maker, 2016 .

[20].site : https://www.melopero.com/fr/shop/development-boards/arduino-compatibili/pro-micro-3-3v8mhz/, date dernière consultation : 2018

[21]. Kadda Zemalache M. "commande d'un système sous-acionné. Application à un drone a quatre hélices", thése d'obtention le grade de docteur de l'université d'Evry val d'Essone. Decembre 2006.

[22]. Mr. AYAD Redouane, «Conception et réalisation d'un drone quadrirotor» Université des Sciences et de la Technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF, diplôme de Magister en automatique,2009/20010.

[23]. S. Bouabdallah."design and control of quadrotors with application to autonomous flying"THÈSE NO 3727 .ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE. 2007.