

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 1



Institut d'aéronautique et des études spatiales
Département de navigation aérienne

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER EN
AÉRONAUTIQUE
Option : CNS/ATM

Thème :

*Réalisation d'un système de navigation
d'un quadricoptère piloté par carte
Raspberry Pi*

Présenté par :

YAHIAOUI Soheib

ELMEDDAH Chérif

Encadré par :

M^r M. A. BENCHERCHALI

Co-encadré par :

M^r A. KECHIDA

M^{me} N. BENNAOUI

Promotion : 2020/2021

Résumé

Ce mémoire est dédié à la réalisation d'un système de navigation spécifique au quadricoptère basé sur la carte de développement Raspberry Pi 3 B. Cette dernière doit faire l'acquisition et le traitement en temps réel des informations issues des capteurs MPU6050 et GPS, intégrer des scènes saisies par une Pi caméra assemblée avec le système réalisé, commander et contrôler le quadricoptère à distance via un joystick et un smartphone. Les résultats obtenus par les capteurs et la caméra devant être affichés sur le smartphone, qui représente la station sol.

Mots-clés : UAV, quadricoptère, système de navigation, Raspberry Pi 3B, MPU6050, GPS, temp réel, Pi caméra, joystick, smartphone.

Abstract

This thesis is devoted to the realization of a navigation system specific to the quadricopter based on the Raspberry Pi 3 B development board. The latter must acquire and process in real time the information from the MPU6050 and GPS sensors, integrate scenes captured by a Pi camera assembled with the system produced, command and control the quadcopter remotely via a joystick and a smartphone. The results obtained by the sensors and the camera to be displayed on the smartphone, which represents the ground station.

Keywords : UAV, quadricopter, navigation system, Raspberry Pi 3B, MPU6050, GPS, real time, Pi camera, joystick, smartphone.

ملخص

هذه الأطروحة مخصصة لتحقيق نظام ملاحه خاص بالطائرة الرباعية على أساس لوحة تطوير Raspberry Pi 3 B بحيث ستكون هذه الأخيرة قادرة على اكتساب ومعالجة المعلومات الصادرة من مستشعرات MPU6050 و GPS في الوقت الفعلي، وكذا معالجة و عرض المشاهد التي تم التقاطها بواسطة الكاميرا Pi المجهزة مع النظام المنتج، والتحكم في الطائرة الرباعية عن بُعد بواسطة عصا التحكم و هاتف ذكي. سيتم عرض النتائج المتحصل عليها من أجهزة الاستشعار والكاميرا على الهاتف الذكي الذي يمثل المحطة الأرضية.

الكلمات المفتاحية : الطائرات بدون طيار، رباعي ديناميكي، نظام ملاحه، Raspberry Pi 3B ، MPU6050 ، GPS ، الوقت الفعلي، كاميرا Pi، عصا التحكم، Raspbian نظام التشغيل، هاتف ذكي.

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force, la volonté et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*Nous adressons nos profonds remerciements et reconnaissances à notre promoteur **M^r M. A. BENCHERCHALI**, pour sa bonne ordonnance, ses précieux conseils, ses orientations, sa confiance et surtout, sa patience dans la cristallisation de notre projet.*

*Nous tenons à remercier **M^{me} N. BENOUI** notre co-promotrice au **Centre de Recherche en Technologie Industrielles**, pour son accueil, son attention, sa confiance et sa gentillesse, qui ont fait de ces trois mois un moment très plaisant et intéressant. Notre reconnaissance lui est dédié, pour le temps qu'elle nous a consacré et son aide tout au long de notre projet*

*Nous n'omettrons pas, **M^r A. KECHIDA**, directeur du **Centre de Recherche en Technologie Industrielles de BOUSMAIL**, sans lequel l'opportunité et la chance de faire notre stage au sein du **CRTI**, n'aurait été possible. Ses orientations et sa participation a la bonne chronologie du cheminement de notre travail ont été le mentor de notre aboutissement.*

Nous remercions les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner notre travail.

Que toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire trouvent ici le témoignage de nos sincères remerciements.

Dédicace

Je souhaite dédier ce travail, synonyme de concrétisation de tous mes efforts fournis ces dernières années d'études :

À ma raison de vivre, que sont mes chers parents, aucune consécration ne saurait exprimer mon respect, mon amour et mon appréciation pour leurs sacrifices, grâce à Dieu et puis grâce à vous je suis devenu ce que je suis aujourd'hui. Je vous remercie du fond du cœur et j'espère que vous êtes fier de moi. Je demande à Dieu de vous protéger et de vous accorder santé, bonheur et longue vie.

À mes deux grands frères et ma grande soeur qui m'ont toujours gâté, soutenu et encouragé. Que Dieu les protège et leurs offres la chance et le bonheur.

À mes chères amis d'enfance et intime avec qui j'ai grandi et partagé des moments inoubliables et qui savent toujours apporter joie et bonheur. je vous aime tous.

À ma grand-mère, mes oncles, tantes, cousins et toutes mes proches. Vous êtes les meilleurs que Dieu vous bénisse.

À mes amis et collègues que j'ai connu grâce à l'IAB et à qui je souhaite plus de succès. Ravi de vous rencontrer et j'espère que notre relation durera même après notre séparation.

À toutes les personnes qui ont de près ou de loin ,contribués à la cristallisation de notre projet de fin d'études.

Soheib

Dédicace

À mes chers parents, pour lesquels, aucun compliment ne saurait exprimer mon amour et ma considération pour leurs grands sacrifices dans leur souci de parfaire mon éducation. Je les remercie.

À ma famille, mes proches ainsi que celles et ceux que j'ai eu la chance de rencontrer durant mon parcours académique, sans oublier les enseignants et amis Surtout la personne que je suis fier d'appeler la joie de ma vie « M_2025 !!!! » qui me donnent chaque jour du courage. Que dieu les bénisse et les protège.

Et à toutes celles et ceux qui nous ont assistés, m'ont soutenu de près ou de loin dans la réalisation et le bon déroulement de notre travail et à tous qui tout au long de ce projet.

Chérif

Table des matières

Résumé	2
Remerciement.....	3
Dédicace	4
Table des matières	6
Liste des figures	8
Liste des Tableaux.....	11
Liste des Abréviations	11
Nomenclature	14
Introduction générale.....	14
CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES DRONES	17
1.1 INTRODUCTION	17
1.2 Définitions	17
1.3 Historique	18
1.3.1 Origine du drone	18
1.3.2 Transition du domaine militaire au civil	19
1.4 Classifications des drones.....	20
1.4.1 Classification selon le P.E.A.....	20
1.4.2 Classification selon une configuration aérodynamique	23
1.5 Utilisation des drones	25
1.6 Réglementation spécifique aux drones dans le territoire national	26
1.7 Description générale du mouvement d'un quadrirotor	26
1.8 Conclusion	30
CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DU RASPBERRY PI.....	31
2.1 INTRODUCTION	31
2.2 Présentation de la carte Raspberry Pi	31
2.3 Connectique de la carte Raspberry Pi	33
2.3.1 Présentation du port GPIO	35
2.4 Accessoires pour le Raspberry Pi	35
2.5 Modèles et choix de la carte Raspberry Pi	36
2.5.1 Modèles de la carte Raspberry pi	36
2.5.2 Choix de la carte Raspberry Pi.....	38
2.6 Protocole de contrôle de la carte Raspberry Pi.....	39
2.6.1 Installation du système d'exploitation.....	39
2.6.2 Fonctionnement du Raspberry pi	39

2.6.3 Configuration des interfaces	40
2.6.4 Utilisation du Raspberry pi	40
2.6.5 Langages de programmation utilisés sur Raspberry pi	41
2.7 Contrôle à distance du Raspberry Pi.....	41
2.7.1 Contrôle via SSH	42
2.7.2 Contrôle via VNC	42
2.8 Les différentes utilisations du Raspberry Pi	42
2.9 Conclusion.....	43
CHAPITRE 3 : ÉQUIPEMENTS ET LOGICIELS, MÉTHODES DE PROGRAMMATION	44
3.1 INTRODUCTION.....	44
3.2 Cahier des charges	44
3.3 Présentation des différents éléments du système de contrôle.....	45
3.3.1 Environnement d'acquisition et de traitement.....	45
3.3.1.1 La Carte Raspberry Pi 3 B	45
3.3.1.2 Présentation des différents Capteurs	45
3.3.1.3 Le module Pi Caméra.....	46
3.3.1.4 Le Servomoteur SG90.....	47
3.3.1.5 Dispositif de contrôle par Bluetooth et Smartphone	47
3.3.1.6 QUADRIROTOR du test	48
3.3.1.7 Carte d'acquisition (PCB)	49
3.3.1.8 Support caméra.....	50
3.3.2 Partie Logicielle	51
3.3.2.1 Le Raspbian (Linux OS)	51
3.3.2.2 Thonny (Python 3.7 IDE).....	51
3.3.2.3 Proteus pro 8.12.....	52
3.3.2.4 Blender 2.9	53
3.3.2.5 VNC Viewer.....	54
3.4 Méthodes nécessaires pour la réalisation de système.....	55
3.4.1 Signal PWM et rapport cyclique.....	55
3.5 Conclusion.....	56
CHAPITRE 4 : RÉALISATION ET TESTS	57
4.1 INTRODUCTION.....	57
4.2 Test statique.....	57
4.2.1 Configuration de l'IMU (MPU6050).....	57
4.2.2 Configuration de GPS (GY-NEO6M)	59

4.2.3 Test du Pi Caméra	61
4.2.4 Configuration des deux Servomoteurs SG90.....	62
4.2.5 Calibration des moteurs et ESC	63
4.2.6 Configuration du joystick GameSir-G4s	64
4.3 Réalisation de la carte d'acquisition (PCB).....	66
4.3.1 Schéma de la carte d'acquisition sur Proteus ARES.....	66
4.3.2 Circuit Imprimé.....	66
4.3.3 Montage de la carte d'acquisition	67
4.4 Réalisation d'un support caméra	67
4.4.1 Réalisation sur Blender	68
4.4.2 Modèles imprimés.....	68
4.4.3 Assemblage des modèles imprimés	69
4.5 Schéma électrique.....	70
4.6 Assemblage.....	71
4.7 L'organigramme	71
4.8 Test Final	72
4.9 Conclusion	75
Conclusion générale	76
Bibliographie.....	77

Liste des figures

Figure 1.1 : DJI Phantom 4 Pro V2.0	17
Figure 1.2 : Vue du prototype du "Quadrotor" le Convertawings	19
Figure 1.3 : Vue du DJI phantom 1 (2013)	20
Figure 1.4 : Drone à aile battante.....	23

Figure 1.5 : Drone à voilure fixe.....	23
Figure 1.6 : Vue d'un mono-rotor.....	24
Figure 1.7 : Vue d'un tri-rotor.....	24
Figure 1.8 : Vues d'un quadrirotors (A), d'un hexarotors (B) et d'un octorotors (C)	24
Figure 1.9 : Description d'un quadrirotor	27
Figure 1.10 : Illustration d'un mouvement vertical.....	28
Figure 1.11 : Illustration d'un mouvement de roulis.....	28
Figure 1.12 : Illustration d'un mouvement de tangage	29
Figure 1.13 : Illustration d'un mouvement de lacet	29
Figure 2.1 : Vue de la carte Raspberry Pi 3 B.....	31
Figure 2.2 : Connecteur, Ports et GPIO du Nano-ordinateur Raspberry Pi 3 B	32
Figure 2.3 : Bureau du Raspberry pi (Debian OS).....	33
Figure 2.4 : Carte Raspberry pi 3 B et connecteurs associés.....	34
Figure 2.5 : Vue du port physique du GPIO de la carte Raspberry Pi.....	35
Figure 2.6 : Vue de l'alimentation USB (A) et du circuit éliminateur de batterie (BEC) (B)	36
Figure 2.7 : Vue du Panel Raspberry pi imager.....	39
Figure 2.8 : Les interfaces du Raspberry pi.....	40
Figure 2.9 : Vue Terminal du Raspberry pi	41
Figure 3.1 : Architecture de système à réaliser.....	44
Figure 3.2 : Vue de la Carte Raspbery pi 3B.....	45
Figure 3.3 : Vue du module GPS NEO M6.....	46
Figure 3.4 : Vue du module MPU6050.....	46
Figure 3.5 : Vue du module Pi caméra.....	46
Figure 3.6 : Vue du Servomoteur SG90.....	47
Figure 3.7 : Vue de l'ensemble Joystick G4s et Smartphone associé	47
Figure 3.8 : Vue du Moteur Brushless.....	48
Figure 3.9 : Vue d'un contrôleur de vitesse ESC.....	48
Figure 3.10 : Vue du profil de l'hélice.....	48
Figure 3.11 : Vue de la Batterie Lipo 4s.....	49
Figure 3.12 : Vue du quadrirotor CRTI.....	49
Figure 3.13 : Le PCB de la carte d'acquisition.....	50
Figure 3.14 : Vue des Modèles de support en 3D.....	50

Figure 3.15 : Raspbian OS.....	51
Figure 3.16 : Thonny Python 3.7.3 IDE.....	52
Figure 3.17 : Interface du logiciel Proteus 8.12.....	53
Figure 3.18 : Interface du Blender 2.9.....	54
Figure 3.19 : Application VNC Viewer sur smartphone.....	54
Figure 3.20 : Signal PWM et son rapport cyclique.....	55
Figure 3.21 : Exemples de rapport cyclique à 50 %, 75 % et 25 %.....	55
Figure 3.22 : Présentation du régulateur PID.....	57
Figure 3.23 : Caractéristiques de la réponse d'un système.....	58
Figure 4.1 : Interfaçage du module MPU6050 au Raspberry Pi	60
Figure 4.2 : Confirmation de connectivité I2C avec MPU6050	61
Figure 4.3 : Affichage des paramètres du module MPU6050	61
Figure 4.4 : Interfaçage du module GPS NEO 6M au Raspberry Pi	62
Figure 4.5 : Données série GPS	62
Figure 4.6 : Les différentes données capturées par GPS	63
Figure 4.7 : Localisation sur GOOGLE map	63
Figure 4.8 : Connexion Raspberry et Pi Caméra	64
Figure 4.9 : Photo prise par Pi caméra au CRTI Bousmail.....	64
Figure 4.10 : Connexion Raspberry et Servomot	65
Figure 4.11 : Branchement de l'ESC, Moteur Brushless	66
Figure 4.12 : connexion Bluetooth du G4s.....	67
Figure 4.13 : Les axes des deux poignées	67
Figure 4.14 : Teste du Joystick	68
Figure 4.15 : Contrôle à distance du Pi caméra et des moteurs via joystick + smartphone	68
Figure 4.16 : Circuit de la carte d'acquisition sur Proteus.....	69
Figure 4.17 : Les deux faces de circuit sur du papier calques.....	69
Figure 4.18 : Circuit Imprimé de la carte d'acquisition	70
Figure 4.19 : Montage de PCB avec Raspberry Pi 3B.....	70
Figure 4.20 : Vue des différentes parties de support sur Blender	71
Figure 4.21 : Vue des modeles imprimés de support	71
Figure 4.22 : Vue de montage final du support caméra	72
Figure 4.23 : Schéma électrique du système	73

Figure 4.24 : Le résultat final du système de navigation	74
Figure 4.25 : Organigramme du programme	74
Figure 4.26 : Les fonctions du Joystick G4s.....	75
Figure 4.27 : Control vertical et de lacet via la poignée droite.....	76
Figure 4.28 : Control de tangage et de roulis via la poignée gauche.....	76
Figure 4.29 : Visualisation des données capturées.....	77
Figure 4.30 : Réception vidéo	77

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Classification des UAV.....	22
Tableau 2.1 : Modèles et caractéristiques du Raspberry Pi (1).....	37
Tableau 2.2 : Modèles et caractéristiques du Raspberry Pi (2).....	38
Tableau 3.1 : l'influence de l'augmentation des paramètres du PID sur le comportement du système en boucle fermé.....	58

Liste des Abréviations

ARES	Advanced Routing and Editing Software
ARM	Advanced RISC Machines
BLE	Bluetooth Low Energy

BEC	B attery E liminator C ircuit
CRTI	Centre de R echerche en T echnologie I ndustrielles.
CPU	Central P rocessing U nit
CSI	Camera S erial I nterface
CMOS	Complementary M etal O xide S emiconductor
CAO	Conception A ssistée par O rdinateur
DJI	D a- J iang I nnovations
DMP	D igital M otion P rocessor
DVI	D igital V isual I nterface
EUROUVS	E uropean A ssociation O f U narmed V ehicles S ystems
EMAR	E UROPEAN M ILITARY A IRWORTHINESS R EQUIREMENT
ESC	E lectronic S peed C ontrol.
Fps	F rames p er s econd
GPIO	G eneral P urpose I nterface
GPS	G lobal P ositioning S ystème
GND	G round
GPU	G raphics P rocessing U nit
GCS	G round C ontrol S tation
GNU	G NU's N ot U nix
Ghz	G iga h ertz
GO	G iga O ctet
HD	H aut D efinition
HDMI	H igh D efinition M ultimedia I nterface
IoT	I nternet o f T hings
I2C	I nter I ntegrated C ircuit.
IMU	I ntertial M easurement U nit.
IP	I nternet P rotocol
ISIS	I nstitute for S oftware I ntegrated S ystems
IDE	I ntegrated D evelopment E nvironment
KV	K ilo V olt
LXDE	L ightweight X 11 D esktop E nvironment
LED	L ight E mitting D iode
LAN	L ocal A rea N etwork

LCD	L iquid C rystal D iode.
MPU	M IDI P rocessing U nit.
MO	M ega O ctet
Mhz	M ega hertz
MLI	M odulation de L argeur d' i mpulsion
MAC	M acintosh
MEMS	M icroelectromechanical S ystems
OGMN	O rganisme de G estion du M aintien de la N avigabilité
OS	O perating S ystem
Pi	P ython
PEA	P oids maximum au décollage, E ndurance et l' A ltitude maximale.
PWM	P ulse W idth M odulation
PCB	P rinted C ircuit B oard.
PID	P roportional I ntegral D erivative.
PC	P ersonal C omputer
PIXEL	P icture E lement
Rpi	R aspberry P i
RPAS	R emotely P iloted A ircraft S ystem
Rx	radio R eceiver
R&D	R esearch and D evelopment
RCA	R adio C orporation of A merica
RISC	R educed I nstruction S et C omputer
RAM	R andom A ccess M emory
SBC	S mall B oard C omputer
SoC	S ystem o n a C hip
SD	S ecure D igital
SDRAM	S ynchronous D ynamic R andom A ccess M emory
SPI	S erial P eripheral I nterface
SSH	S ecure S hell
SDA	S erial D ata
SLC	S erial C lock
SDL	S imple D irectmedia L ibrary
Tx	radio T ransmitter

UAV	U n m anned A erial V ehicle
UAS	U n m anned A erial S ystem
USB	U niversal S erial B us
UART	U niversal A synchronous R eceiver T ransmitter
VNC	V ertuel N etwork C omputing
Vcc	V oltage C ommon C ollector
WiFi	W ireless F idelity
XBMC	X - B ox M edia C enter
2D	T wo D imensional
3D	T hree D imensional

Nomenclature

Fr	fréquence
T	la période temporelle
Td	constante de temps de la partie dérivée
Ti	constante de temps de l'action intégrale
kp	Gain proportionnelle
ki	Gain intégral
ka	Gain dérivé
$\varepsilon(t)$	Signal d'entrée du correcteur (ou signal d'erreur)
$U(t)$	Signal de sortie du correcteur (ou signal de commande)
$H_{PID}(s)$	Fonction de transfert classique d'un correcteur PID

Introduction générale

Les drones connaissent actuellement un important succès dans le monde civil aussi bien auprès des particuliers que des professionnels. En tant qu'aéronef sans passager ni pilote, l'**UAV** (**U**n**m**anned **A**erial **V**ehicle) peut voler de façon autonome ou être contrôlé à distance depuis le sol.

Extrapolation du terme anglais signifiant "faux-bourdon", le mot "drone" est employé pour désigner des véhicules aériens, terrestres, de surface ou sous-marins, alors que la classification anglo-saxonne distingue chaque type d'appareil.

La taille d'un drone aérien peut aller de quelques centimètres pour les modèles miniatures à plusieurs mètres pour les drones spécialisés (surveillance, renseignement, combat, transport, loisirs). L'autonomie en vol va de quelques minutes à plus de 40 heures pour les drones de longue endurance. En octobre 2014, un drone spatial nommé X-37B lancé par l'armée américaine est revenu sur Terre après 22 mois passés à naviguer dans l'espace.

À l'origine, développés pour des usages militaires, spécialement pour des missions de reconnaissance, de surveillance et d'attaques ciblées, les drones plus économiques permettent d'éviter la mise en jeu la vie des pilotes et de déployer des troupes terrestres notamment pour les missions de reconnaissance, de surveillance et d'attaques ciblées. Leur utilisation au sein des armées et forces de police est devenue prépondérante.

Dans le civil, de nombreux domaines (cinéma, télévision, agriculture, environnement, etc.) ont induit des applications inédites des drones, grâce à leur capacité à embarquer des appareils photo, des caméras ou des capteurs environnementaux. Plusieurs sociétés spécialisées dans le transport (DHL, UPS, Allship, La Poste) ainsi que le géant du e-commerce tel que Amazon, travaillent sur des concepts de drones-livreurs. Ce type de service ayant été introduit en 2015 aux Émirats arabes unis pour la livraison de documents officiels.

Enfin, les drones de loisir viennent de se greffer à l'essor important des appareils miniaturisés, abordables et suffisamment maniables pour être accessibles aux néophytes.

C'est parce que Les systèmes de drones actuels sont dotés de peu de capacités décisionnelles embarquées et qu'ils sont de ce fait limités en portée, détectables, vulnérables à la perte de liaisons, peu discrets, peu réactifs, peu manœuvrant et cantonnés à des missions de reconnaissance, d'observation pour le renseignement ou de désignation d'objectifs que dans un souci d'apporter certaines retouches à l'amélioration de véhicules aériens après le succès des versions « Amel-1, 2 et 3 » l'idée de développer une avionique utilisant des techniques avancées d'acquisition, de traitement de l'information et de décision autonome afin d'introduire l'intelligence artificielle dans un futur assez proche, pour piloter de nouveaux modèles, a fait que notre projet de fin d'études s'est vue inséré dans ce cadre, pour nous inviter à contribuer à l'introduction de fonctionnalités qui puissent garantir une autonomie de navigation en nous associant aux chercheurs et ingénieurs du CRTI dans la mise au point d'algorithmes qui permettraient à un aérodyne d'évoluer de manière autonome, grâce à une IA et d'une procédure d'apprentissage automatique (machine Learning) capables d'évoluer sur différents programmes liés à la navigation aérienne qui impulserait, le saut technologiques nécessaires pour surmonter les points durs recensés pour le développement de systèmes de drones opérationnels qui s'expriment par :

1. une intégration de la charge utile et du système de conduite
2. une sécurité, sûreté de fonctionnement et certification
3. des capteurs ayant la capacité de "voir et éviter"
4. une liaison bidirectionnelle de données.

Pour y parvenir, nous nous sommes engagés dans l'approche de la réalisation d'un système de navigation soumis à une configuration matérielle et logicielle minimale qui, dans un premier temps, intégrerait un ensemble de capteurs pour la détermination de l'accélération, de la position, de l'attitude, longitude, altitude et vitesse associé du drone, géré par un microprocesseur embarqué pour le calcul et la commande, le contrôle et la fusion des données.

C'est parce que le Raspberry Pi est en train d'affirmer son rang de carte incontournable au cœur des solutions logicielles que ce dernier est l'élément primaire fondamental pour prendre en charge les outils d'intelligence artificielle souscrivant la mise en place des solutions de machine Learning pour faire fonctionner des robots avec des outils de faible puissance.

La qualité du vol, la stabilité du système, son autonomie, sa réactivité sont des facteurs déterminants pour le choix des capteurs et des calculateurs embarqués.

Ce projet de fin d'études a pour but principal de réaliser dans un premier temps, dans le cadre d'une autonomie décisionnelle supervisée, un système de navigation pour un quadricoptère. Cette phase comprend le choix d'un nano ordinateur personnalisé par le Raspberry Pi 3 B dont rôle sera de commander, contrôler, acquérir et traiter les données des issues des capteurs respectifs : central inertiel et GPS pour afficher ces données de façon sérielle.

Pour atteindre l'objectif fixé et bien comprendre les spécificités de cette nouvelle technologie, nous avons orienté notre étude autour de quatre axes principaux cristallisés par quatre chapitres.

- Dans le premier, l'utilité des drones associés à leurs domaines d'applications, classifications et leur réglementation sont définies en matérialisant la description sur les différents mouvements du quadricoptère.
- Le second introduira dans le cadre de la maîtrise de l'autonomie décisionnelle, le nano ordinateur Raspberry Pi et son fonctionnement ainsi que son rôle dans la classification de son utilisation, dans le protocole de son démarrage et contrôle grâce aux langages de programmation compatible avec l'OS de ce dernier et les différents projets raccordés.
- Le troisième chapitre, présentera le cahier de charge de notre projet fin d'étude pour mettre en relief les équipements, capteurs, logiciels et méthodes utilisés pour la réalisation et la programmation du système de navigation.
- Le dernier chapitre enfin, scellera notre travail par les tests indispensables à faire pour chaque équipement. Ces équipements sont assemblés sur une carte d'acquisition compatible avec son environnement valider la réalisation.

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES DRONES

1.1 INTRODUCTION

Pouvoir piloter un engin sans être directement à l'intérieur, relevait de la science-fiction, il n'y a pas si longtemps. Réservés aux domaines militaires pendant presque 100 ans, les drones civils ont fait discrètement leurs apparitions depuis une dizaine d'années sous couvert d'un simple jouet pour devenir ensuite un outil performant pour la prise de vue aérienne, induisant par voie de conséquence la multiplication et la diversification des drones. L'innovation permet de fabriquer relativement aisément un drone, si l'on sait de façon précise l'objet que nous voulons obtenir dans les domaines du secourisme, du journalisme, de l'agriculture, etc. Afin d'en savoir davantage sur ces aéronefs qui révolutionnent notre quotidien et même certaines de nos professions, nous ouvrons ce chapitre par ce bref dossier sur les drones.

1.2 Définitions

Dans le monde entier, les drones désignent des engins militaires pilotés à distance, qu'ils soient volants, terrestre ou encore amphibiques. Le terme de "drone" est utilisé pour parler des drones civils, ceux pouvant être utilisés pour de la surveillance ou encore prendre des photos et des vidéos aériennes. En anglais, les termes utilisés pour décrire les drones de loisirs sont des acronymes : **UAV** pour **Unmanned Aerial Vehicle** ou **UAS (Unmanned Aerial System)** lorsque son équipement est à bord. On peut également parler de **RPAS** qui est un synonyme excluant simplement les engins autonomes.

En bref, un drone ou UAV est un aéronef inhabité, inclus dans le domaine de la robotique aérienne, le pilotage de ce genre d'engin se fait d'une manière autonome ou télé piloté. Les drones peuvent effectuer des missions variées, pour des usages civils ou militaires sans présence humaine à bord, le rendant capable d'effectuer des tâches spécifiques pendant une durée de vol qui peut varier en fonction de ses capacités [1].



Figure 1.1: DJI Phantom 4 Pro V2.0

Le drone n'est en fait qu'un des éléments d'un système conçu et déployé pour assurer une ou plusieurs missions. C'est la raison pour laquelle les spécialistes en parlent.

Le principe des drones peut être comparé en proportions équivalentes à celui de l'aéromodélisme, selon lequel des aéronefs de modèle réduit sont pilotés par télécommandes. La plupart des drones sont comparable aux aéronefs, sauf que leur forme n'est pas dictée par les combinaisons de formules

aérodynamiques et de propulsion qui sont plus larges ; celle d'un fuselage par exemple devant abriter au moins un pilote.

Il existe de nombreuses techniques de configurations d'un drone, très différentes les unes des autres et dont certaines sont très novatrices. En conséquence la forme du drone est conçue en fonction de sa nature matérielle, du profil de sa mission, de la charge utile à transporter ou chaque mission correspond une solution spécifique.

1.3 Historique

1.3.1 Origine du drone

Le concept naît pendant et après la première guerre mondiale, des prototypes d'avions sans pilotes radiocommandés ont ainsi vu le jour, avec des tentatives télécommandes par télégraphie sans fil et embarquant un gyroscope [2].

- En 1916, au Royaume-Uni, fut conçue l'Ariel Target, un projet d'avion cible par l'ingénieur Archibald Low, physicien et inventeur, et auteur de plus de 40 livres qualifié de « père des systèmes de radioguidage » en raison de son travail de pionnier sur les fusées guidées, les avions et les torpilles.
- En 1917, aux Etats-Unis, le projet Hewitt Sperry automatic airplane des ingénieurs Elmer Ambrose Sperry, Lawrence Sperry et Peter Cooper Hewitt se développe.
- En France, le 2 juillet 1917, le pilote Max Boucher fait voler un avion sans l'intervention de l'homme sur un kilomètre.
- Au début de l'année 1918, George Clemenceau, président de la commission sénatoriale de l'armée lance un projet d'avion sans pilote le capitaine Boucher améliore son système de pilotage automatique et le 14 Septembre, il fait voler pendant 51 min sur un parcours de 100 Km un avion sans pilote BN3.
- Le premier drone français Stricto sensu a été conçu, réalisé et expérimenté des 1923 à Estompes par l'ingénieur Maurice Percheron et le capitaine Max Boucher mais l'armée française ne trouve pas encore d'intérêt à cette nouvelle technologie.
- Des prototypes d'avions-cibles autonomes furent ensuite construits dans les années 1914-1918 au Royaume-Uni et aux Etats-Unis où le radio plane OQ2, qui était d'abord un jouet prenant la forme d'avion de taille réduite télé piloté, fut construit à plusieurs exemplaires avant de susciter l'intérêt de l'armée américaine.
- L'armée allemande développa à partir de 1918 des recherches sur des vecteurs guidés à distance et prenant la forme de bombes planantes anti-navires, de bombes antichar radioguidées et surtout de véhicule à chenilles filoguidés : en 1918 fut par exemple opérationnel le Goliath d'après prototype confisqué à Adolphe Kégresse.

Dans les années 20, à Amityville New York, Convertawings a construit un quadrirotor disposant de rotors de diamètre 5.92 mètres et des ailes pour générer une portance vers l'avant. Deux moteurs Continental de 90 CV ont été utilisés et le véhicule a été commandé en changeant la poussée fournie par chaque rotor. Le quadrirotor de Convertawings a été piloté avec succès, mais la production a été arrêtée en raison d'un manque d'intérêt commercial pour cette avion.



Figure 1.2 : Vue du prototype du "Quadrotor" le Convertawings

- A l'époque de la guerre froide, le drone a été développé de façon confidentielle par les Etats Unis d'Amérique comme un moyen de supériorité stratégique et de rupture capacitaire devant permettre la surveillance et l'intervention militaire chez l'ennemi sans encourir les risques humains que l'opinion ne supportait pas. Il est notamment utilisé pour larguer des traces dans le cadre de la guerre psychologique. Cette supériorité a été acquise au travers l'innovation technologique surtout dans les domaines l'automatique et des transmissions.
- Dans les années 2000, le drone est utilisé dans les conflits et opérations de maintien de la paix comme au Kosovo. Au Tchad, aux attaques aériennes américaines au Pakistan ou contre Talibans et aussi contre la piraterie maritime.
- En juin 2014, les Etats-Unis autorisent le premier vol d'un drone à usage commercial, avec l'envoi d'un appareil en Alaska.
- Le marché du drone est actuellement en pleine expansion son chiffre d'affaire étant passé 62 millions d'euros en 2012 à une estimation de 288 millions d'euros en 2015. En 2016 les autorités néerlandaises annoncent avoir dressé des aigles et les avoir postés aux alentours de sites sensibles (installations militaires, centrales nucléaires) pour que ces derniers attrapent des drones voulant voler au-dessus du périmètre interdit et les ramènent au sol.

1.3.2 Transition du domaine militaire au civil

Comme beaucoup de technologies utilisées aujourd'hui pour des applications civiles (internet, le GPS, etc.), le drone est issu d'un transfert de technologie provenant des militaires. Grâce aux avancées de la microélectronique, la technologie du guidage sans fil et sur les systèmes optoélectroniques, les drones ont commencé à faire leurs apparitions dans le civil. Ainsi, c'est en 2006 que la première entreprise spécialisée dans la fabrication des drones commence ses activités dans ce secteur. Cette entreprise porte le nom de DJI et est basée à Shenzhen (ville chinoise analogue à la Silicon Valley). A ces débuts, cette entreprise proposait des drones capables de filmer ou de prendre des photos à l'aide

d'une caméra embarquée. DJI contrôle actuellement environ 72% du marché mondial et est devenu bien connu dans le monde entier pour son engagement inébranlable envers l'innovation et la production implacable de centrales électriques [3].



Figure 1.3 : Vue du DJI phantom 1 (2013)

Les drones font aussi leurs entrées dans le monde professionnel, grâce l'apparition de nouvelles entreprises comme R&D Tech, spécialisée dans la conception de ces engins destinés à l'usage professionnel.

Dans des pays comme le Japon, ils sont utilisés dans le domaine de l'agriculture pour la surveillance et l'épandage, ou pour effectuer des mesures chimiques comme en 2011 lors de la catastrophe de Fukushima, où ils étaient utilisés pour déterminer les taux de radiations. En 2008, 2012, et 2014, ils sont respectivement employés lors des Jeux Olympiques de Pékin, ceux de Londres, lors de la coupe du monde et des Jeux Olympiques d'hiver de Sotchi afin d'effectuer des photos des vidéos de ces événements. Ainsi, comme nous l'a mentionné Philippe Michel lors de notre interview à R&D Tech, il faut considérer le fait que la prise de photo et de vidéo représente 90% à 95% des utilisations des drones dans le domaine professionnel [4].

1.4 Classifications des drones

1.4.1 Classification selon le P.E.A

P.A.E c'est-à-dire : le poids maximum au décollage, l'altitude maximale et endurance [5].

Le PEA constitue l'élément essentiel du référentiel d'entretien préventif applicable d'un aéronef complet ; c'est un document qui rassemble toutes les données indispensables pour assurer la gestion de la maintenance préventive, programmée et permanente.

Le PEA correspond à un ensemble d'informations évoluant au rythme de parution des données d'entretien applicables. Il se matérialise périodiquement au travers de ses révisions. Le PEA est établi à partir :

- des programmes recommandés d'entretien définis par le détenteur du certificat, et ;
- de la documentation précisant les limites et les échéances d'entretien pour les produits, pièces et équipements avionnés et optionnels, soumis ou non aux exigences du maintien de la navigabilité.

Chapitre 1 : Généralités sur les drones

Le PEA n'est pas un document qui définit l'entretien des équipements déposés ; à ce titre il n'est pas destiné aux organismes d'entretien EMAR/FR 145. Le PEA se présente sous la forme d'un document identifié, géré en configuration selon des dispositions propres à l'OGMN à décrire dans le MGN.

Le caractère préventif définit les opérations de maintenance à réaliser de façon programmée, indépendamment des mesures conservatoires ou provisoires, adoptées en réaction à un événement imprévu et qui dès lors sont considérées comme des mesures curatives. L'entretien préventif est constitué de l'ensemble des opérations qui contribuent à maintenir l'aéronef à un niveau de sécurité satisfaisant correspondant aux conditions définies par la certification initiale, complétées des données de navigabilité supplémentaires (actes techniques, CN, DTC, etc.). Il incorpore d'une manière générale :

- des inspections : examens de niveaux divers ayant pour but de reconnaître objectivement l'état d'un composant ;
- des actions particulières, prédéterminées ou non : interventions à effet de conservation, ainsi qu'actions correctives issues des inspections ;
- des remplacements de composants à échéance déterminée ;
- des vérifications périodiques suite à l'application de solutions de réparation ;
- des opérations particulières ayant pour objet de reconnaître le maintien de certaines qualités opérationnelles, ou consécutives à certains événements fortuits.

Chapitre 1 : Généralités sur les drones

Une classification fut proposée par l'European Association of Unmanned Vehicles Systems (EUROUVS). Cette classification est basée sur les paramètres P.E.A

Tableau 1.1 : Classification des UAV

	Catégorie	Masse maximale au décollage (kg)	Altitude maximale de vol (m)	Endurance (heures)	Portée de la liaison de données (Km)	Exemple	
						Missions	Systèmes
Micro/Mini UAVs	Micro (MAV)	0.10	250	1	< 10	Repérage, Échantillonnage NBC, Surveillance à l'intérieur du bâtiment	Black Widow, MicroStar, Microbat, FanCopter, QuattroCopter, Mosquito, Hornet, Mite
	Mini	< 30	150-300	< 2	< 10	Industries du cinéma et de la diffusion, agriculture, pollution, mesures, surveillance à l'intérieur des bâtiments, relais de communication et WE	Mikado, Aladin, Tracker, DragonEye, Raven, Pointer II, Carolo C40/P50, Skorpio, R-Max and R-50, RoboCopter, YH-300SL
UAV tactiques	Courte portée (CP)	150	3.000	2-4	10-30	RSTA, détection de mines, recherche et secours EW	Observer I, Phantom, Copter 4, Mikado, RoboCopter 300, Pointer, Camcopter, Aerial and Agricultural RMax
		200	3.000	3-6	30-70	BDA, RSTA, EW, détection de mines Véhicule de lancement d'interception	Scorpi 6/30, Luna, SilverFox, EyeView, Firebird, R-Max Agri/Photo, Hornet, Raven, phantom, GoldenEye 100, Flyrt, Neptune
	Moyenne portée (MP)	150-500	3.000-5.000	6-10	70-200	BDA, RSTA, EW, détection de mines, Échantillonnage NBC	Hunter B, Mücke, Aerostar, Sniper, Falco, Armor X7, Smart UAV, UCAR, Eagle Eye+, Alice, Extender, Shadow 200/400
	Longue portée (LP)	-	5.000	6-13	200-500	RSTA, BDA, Relais de communication	Hunter, Vigilante 502
	Tolérance (EN)	500-1.500	5.000-8.000	12-24	> 500	BDA, RSTA, EW, Relais de communication Échantillonnage NBC	Aerosonde, Vulture II Exp, Shadow 600, Searcher II, Hermes 450S/450T/700
	Moyenne Altitude, Longue Tolérance (MALT)	1.000-1.500	5.000-8.000	24-48	> 500	BDA, RSTA, Livraison d'armes EW Relais de communication, Échantillonnage NBC	Skyforce, Hermes 1500, Heron TP, MQ-1 Predator, Predator-IT, Eagle-1/2, Darkstar, E-Hunter, Dominator
UAV stratégiques	Haute altitude, Longue Tolérance (HALT)	2.500-12.500	15.000-20.000	24-48	> 2.000	BDA, RSTA, EW, Relais de communication, phase de poussée, Véhicule de lancement, sécurité aéroportuaire	Global Hawk, Raptor, Condor, Theseus, Helios, Predator B/C, Libellule, EuroHawk, Mercator, SensorCraft, Global Observer, Pathfinder Plus,
UAV à tâches spéciales	Lethal (LET)	250	3.000-4.000	3-4	300	Anti-radar, anti-navire, anti-aérien, anti-infrastructure	MALI, Harpy, Lark, Marula
	Decoys (DEC)	250	50-5.000	< 4	0-500	Brouillage aérien et naval	Flyrt, MALD, Nulka, ITALD, Chukar
	Stratospheric (Strato)	TBD	20.000-30.000	> 48	> 2.000	-	Pegasus
	Exo-stratospheric (EXO)	TBD	> 30.000	TBD	TBD	-	MarsFlyer, MAC-1

Source: Adapted from "UVS-International-"UAV System producers & Models: All UAV Systems Referenced," 2006

Table de Classification des Drones

1.4.2 Classification selon une configuration aérodynamique

La configuration aérodynamique permet une autre possibilité de classification des drones selon les trois familles suivantes:

a) Ailes battantes



Figure 1.4 : Drone à aile battante

Le guidage et le pilotage se faisant grâce à des ailes battantes. Imitant les oiseaux ou les insectes, ils peuvent faire des vols stationnaires à basse vitesse et effectuer des missions dans des espaces très réduits [1].

b) Voilures fixes



Figure 1.5 : Drone à voilure fixe

Ce genre d'appareil est constitué d'une paire d'ailes, d'un fuselage, d'un empennage et d'un ensemble d'hélices pour donner dans cette configuration au drone, plus d'autonomie.

c) Voilure tournante

Ces genres de machines ont la capacité d'opérer des vols à décollages et atterrissages verticaux, en utilisant leurs voilures tournantes ou rotors multiples pour "faire du sur place" sans nécessité de piste de décollage ou d'atterrissage. Ils sont utilisés dans une très grande variété de missions irréalisables par rapport aux drones à voilure fixe. Les drones à voilures tournantes sont classés selon les catégories suivantes :

- **Mono-rotors**

Les mono-rotors se composent d'un rotor principal qui permet le décollage et l'atterrissage. Ils se divisent en trois sous-catégories selon la configuration utilisée pour permettre au drone de se déplacer dans ses différents axes (en translation et en rotation).



Figure 1.6 : Vue d'un mono-rotor

- **Birotors**

Les birotors contrarotatifs qui se composent de deux rotors tournant en sens inverse avec la même vitesse de rotation.

- **Tri-rotors**



Figure 1.7 : Vue d'un tri-rotor

Les tri-rotors sont constitués de deux moteurs à l'avant tournant en sens inverse pour modifier le tangage, tandis que celui situé à l'arrière régle le roulis.

- **Les rotors multiples ou giravions**



Figure 1.8 : Vues d'un quadrirotors (A), d'un hexarotors (B) et d'un octorotors (C)

1.5 Utilisation des drones

L'utilité et l'efficacité des drones pour effectuer certains types de missions ne sont plus à démontrer. Les progrès technologiques ont rendu possible ce qui paraissait imaginaire il y a quelques années, et l'accélération permanente de la recherche en la matière annonce de nouvelles utilisations des drones dans un futur qui ne sera finalement peut-être pas si lointain.

Si l'histoire des drones militaires remonte à une centaine d'années, leur développement dans les domaines de l'imagerie aérienne, de l'agriculture, ou tout simplement des drones civils à usage professionnel et industriel, connaît un essor qui semble désormais faire d'eux des outils indispensables dans de nombreux secteurs.

L'image dans d'autres domaines tels que la recherche sur les drones radiocommandés avance plus vite que les limitations imposées par les différentes réglementations sur l'utilisation de l'espace aérien, un espace particulièrement sensible à l'heure où la sécurité intérieure et la prévention des menaces sont devenues des priorités pour de nombreux pays dans le monde. Les caractéristiques générales des drones se regroupent dans des couvertures selon leurs missions [6] :

a) Journalistique

Utilisation dans l'atteinte de zones sinistrées ou difficilement accessibles, les journalistes ou reporters peuvent faire des reportages sans mettre leurs vies en danger.

b) Agricoles

Les drones destinés au domaine de l'agriculture fournissent des services de surveillance, de repérage d'hétérogénéités du sol, d'examen de la densité végétale, de création de zones sur les parcelles, etc.

c) Topographique

Utilisé pour des relevés topographiques, lors de survol de grandes zones afin de recueillir des informations de types géodésiques (distance, hauteur), thermique, hygrométrique, imagerie dans le visible ou infra-rouge, avec une précision absolue.

d) Promotion d'un site ou d'un territoire

Comme les drones sont des petits appareils téléguidés permettant de faire des prises de vue depuis le ciel. Ces appareils peuvent être utilisés pour prendre des photos ou bien des vidéos d'un lieu touristique, d'un élément patrimonial, d'une activité, etc ... Leur légèreté et leur petite taille leur permettent de se faufiler à des endroits parfois inaccessibles avec une équipe de tournage ou un hélicoptère et ainsi de découvrir un territoire d'une façon totalement novatrice pour que des visiteurs puissent s'y rendre.

d) Cinématographiques

Le drone au cinéma est devenu le nouvel outil du septième art. Economique et rapide à mettre en œuvre, il est devenu un outil indispensable aux professionnels du cinéma, les réalisateurs et metteurs en scène car de plus en plus utilisé pour réaliser des images aériennes, stables et fluides au plus près du sujet filmé, plongeant ainsi le spectateur au cœur de l'action.

e) Protection et sécurité

L'utilisation d'un drone de surveillance permet d'assurer la protection et la sécurité des individus dans de nombreuses circonstances, tout en offrant rapidité de mise en œuvre et maniabilité. Les

missions de surveillance, de jour comme de nuit, exigent de la précision, de la rapidité et de l'efficacité pour permettre une prise de décision adaptée.

Grâce aux drones, il est possible de s'approcher au plus près, de visualiser très clairement un objet situé à plus d'un, voire deux kilomètres. Les images sont enregistrées à bord du drone pour une analyse ultérieure et retransmises au sol en temps réel, sur un écran ou une tablette, pour une intervention rapide. Tout l'intérêt d'un drone de surveillance réside dans son extrême polyvalence. Un aéronef télépiloté se déploie à très grande vitesse. Il peut embarquer plusieurs types de capteurs différents : caméra thermique pour drone, caméra avec zoom optique, caméra ultra haute définition etc.

Le drone a l'avantage de pouvoir se rendre dans des zones inaccessibles à l'homme, mais en plus de s'approcher à basse altitude au plus près de la zone à surveiller. Certains drones de surveillance sont capables d'embarquer deux capteurs simultanément qui peuvent être contrôlés indépendamment et ayant un retour vidéo des deux caméras en parallèle. Grâce à ce type de systèmes, il est ainsi possible de coupler une vue thermique avec une autre vue permettant un zoom important : particulièrement utile pour localiser une personne, une zone de chaleur. Des drones particulièrement adaptés aux activités de surveillance, capables d'embarquer de nombreux capteurs et disposant d'une autonomie impressionnante fait que ces machines ne sont pas forcément à la portée de toutes les bourses.

1.6 Réglementation spécifique aux drones dans le territoire national

Utiliser un drone chez soi, est possible ? Comme toute pratique, le fait de piloter un drone est soumis à la réglementation Algérienne. En effet, pour préserver la sécurité de tous, il n'est pas possible de faire n'importe quoi avec son drone. Ainsi, un pilote de drone ne peut pas :

- Dépasser une altitude maximale de 150 m. Au-delà, il rentrerait dans l'espace aérien.
- Survoler des zones urbaines, des zones d'aviation (aéroport, aérodrome, etc.) et des zones sensibles (centrale nucléaire, base militaire, etc.).
- Effectuer des vols durant la nuit.
- Filmer des personnes sans leur consentement.
- Survoler des personnes au risque de les blesser en cas de chute.

Il faut rappeler qu'en cas de dommages, l'assurance de responsabilité civile du pilote sera alors engagée. Aussi est-il conseillé de vivement vérifier toute assurance qui couvre l'utilisateur avant de se lancer dans le pilotage de drone [7].

1.7 Description générale du mouvement d'un quadricopteur

Puisque notre projet est axé sur la création d'un système de navigation pour un quadricopteur, nous devons parler des différents mouvements résultant de l'activité des quatre moteurs.

Le fonctionnement d'un quad-copteur est assez particulier. En faisant varier astucieusement la puissance des moteurs, il est possible de le faire monter ou descendre, de l'incliner à gauche ou droite (roulis), en avant ou en arrière (tangage) ou encore de le faire pivoter sur lui-même (lacet), le quadricopteur a six degrés de liberté, trois mouvements de rotation et trois mouvements de translation, ces six degrés doivent être commandés à l'aide de quatre déclencheurs seulement [1].

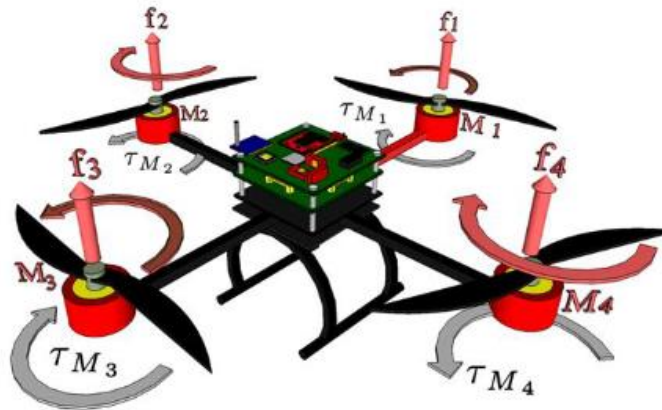


Figure 1.9 : Description d'un quadrirotor

Les mouvements d'un quadrirotor sont réalisés en variant la vitesse de chaque rotor, de ce fait la poussée est produite. Le quadrirotor incline vers la direction du rotor plus lent, qui tient compte alors de la translation le long de cet axe. Par conséquent, le quadrirotor ne peut pas réaliser la translation sans roulis ou tangage, ce qui signifie qu'un changement de la vitesse d'un rotor se traduit dans un mouvement qui présente au moins trois degrés de liberté. Par exemple, l'augmentation de la vitesse du moteur gauche aura comme conséquence un mouvement de roulis. Nous pouvons commander les six degrés de liberté de quadrirotor avec seulement quatre commandes (le couple appliqué par les moteurs sur chaque propulseur) [1].

Le quadrirotor a quatre mouvements principaux :

- Mouvement vertical.
- Mouvement de roulis.
- Mouvement de tangage.
- Mouvement de lacet.

a) **Mouvement vertical**

Afin de planer, toute la force de portance devrait seulement être le long de l'axe z avec une grandeur exactement opposée à la force de pesanteur. D'ailleurs, la force de portance créée par chaque rotor doit être égale pour empêcher le véhicule de s'incliner. Par conséquent, la poussée produite par chaque rotor doit être identique. Le mouvement ascendant et descendant est obtenu par la variation de la vitesse de rotation des moteurs, si la force de portance est supérieure au poids du quadrirotor le mouvement est ascendant, et si la force de portance est inférieure au poids du quadrirotor le mouvement est descendant [8].

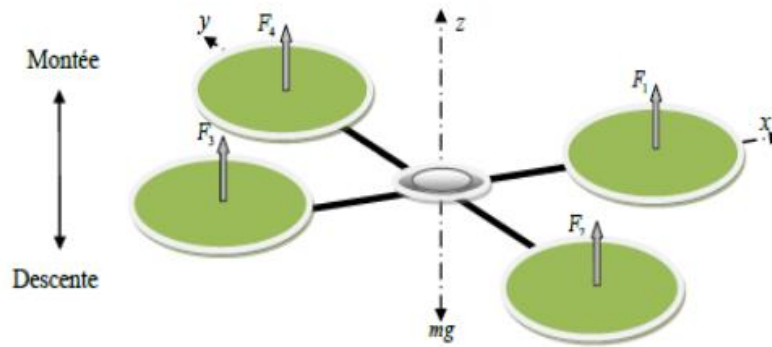


Figure 1.10 : Illustration d'un mouvement vertical

b) Mouvement de roulis

Le mouvement de roulis est obtenu en augmentant ou en diminuant la vitesse de l'hélice gauche et en diminuant ou en augmentant la vitesse de l'hélice droite. Elle conduit à un couple qui fait tourner le quadrirotor par rapport à l'axe x . L'ensemble des poussées verticales est le même que du vol stationnaire, donc cette commande conduit seulement à une accélération angulaire de roulis [8].

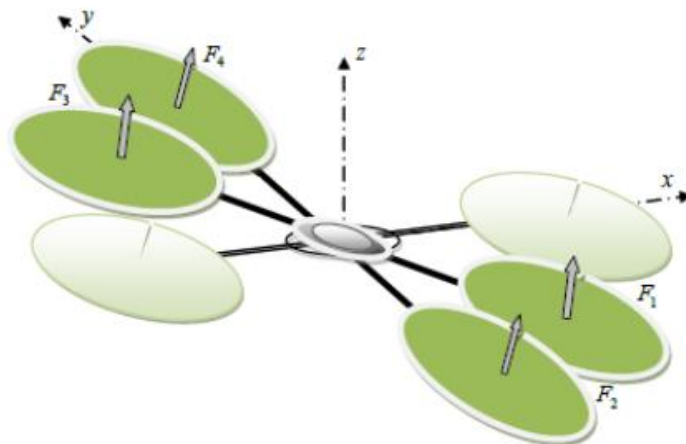


Figure 1.11 : Illustration d'un mouvement de roulis

c) Mouvement de tangage

Ce mouvement est très ressemblant à celui du roulis et il est obtenu en augmentant ou en diminuant la vitesse d'hélice arrière et en diminuant ou en augmentant la vitesse d'hélice d'avant. Ce qui conduit à un couple par rapport à l'axe y qui fait tourner le quadrirotor [8].

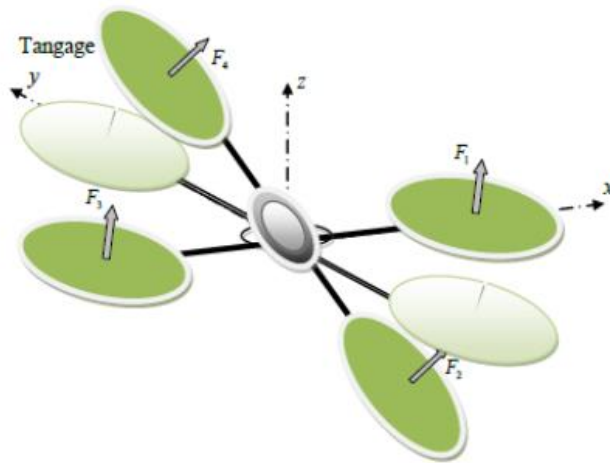


Figure 1.12 : Illustration d'un mouvement de tangage

d) Mouvement de lacet

Le mouvement de lacet est obtenu en augmentant ou en diminuant la vitesse des hélices avant-arrière et en diminuant ou en augmentant la vitesse des hélices gauche-droit. Ce qui conduit à un couple qui a un rapport avec l'axe z qui fait tourner le quadrirotor. Le mouvement de lacet est produit grâce au fait que les hélices gauche-droit tournent dans le sens horaire tandis que les hélices avant-arrière tournent dans le sens antihoraire. Ainsi, lorsque le couple global est déséquilibré, le quadrirotor tourne sur lui-même autour de z . Cette commande elle conduit seulement à une accélération de l'angle de lacet [8].

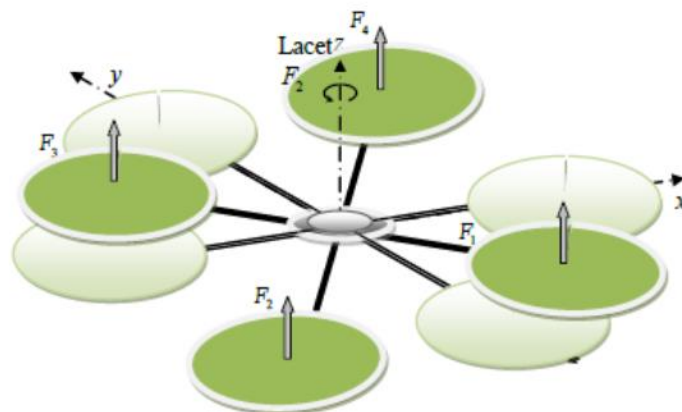


Figure 1.13 : Illustration d'un mouvement de lacet

1.8 Conclusion

A l'heure actuelle, le nombre de drones civils explose malgré des performances encore limitées et une réglementation restrictive. L'avance dans ce domaine contrebalance avec son retard dans son utilisation commerciale. Beaucoup de jeunes sociétés se sont lancées dans l'aventure et attendent avec impatience que les grands dirigeants passent de l'expérimentation et à l'industrialisation des applications possibles. Leur nombre augmentera encore beaucoup plus lorsque les drones pourront entrer dans le trafic aérien.

Dans ce chapitre, nous avons tenté de réunir certains facteurs matériels (robustesse de la liaison de contrôle, certifications des drones et des logiciels) et humains dans la qualification des équipages. N'étant pas le cas pour l'instant, bien que des progrès techniques soient accomplis d'améliorations, dans l'utilisation pour, par exemple tripler l'endurance des appareils, la sensibilité des centrales inertielles, qui s'avèrent aujourd'hui suffisamment précises pour se passer de GPS et donc de naviguer dans les bâtiments ; ou encore l'utilisation de Lidar dans la détection d'obstacles introduiront des automatismes en cours de développement sur les drones, comme la mise en oeuvre d'un atterrissage automatique en cas de malaise du pilote ou de voiture sans chauffeur serait de miniaturiser ces drones afin de voler dans un environnement hostile comme par exemple l'enceinte d'une centrale nucléaire. Cette technologie fait désormais partie intégrante de notre vie, les drones sont de plus en plus présents et notre futur ne pourra exister sans ces appareils. Aussi, nous ne devrions plus être terrorisés face à cette avancée technique. Enfin, ce qui compte aux yeux des clients aujourd'hui, c'est la qualité des données produites.

CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DU RASPBERRY PI

2.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons apprendre en détail le Raspberry Pi car il représente le cerveau et le composant principal de notre projet. Nous parlerons de ce que c'est, ses composants, ses caractéristiques, les différents types de Raspberry Pi, comment commencer à l'utiliser, ainsi que les différents langages de programmation qui lui conviennent...etc., nous allons aussi expliquer pour quoi on a choisi le Raspberry Pi 3 B pour notre réalisation.

2.2 Présentation de la carte Raspberry Pi

Conçu dans le but de favoriser l'apprentissage de la programmation informatique, le Raspberry Pi a rencontré un engouement dépassant largement les espérances de ses créateurs.

Sorti le 28 février 2012, le Raspberry Pi a été vendu à plus d'un million d'exemplaires la première année. Les ventes atteignaient 2,3 millions de cartes début 2014 et 4 millions début 2015. La sortie du Raspberry Pi 2 (2 février 2015) a encore accéléré le mouvement avec 500000 exemplaires écoulés dans les deux mois suivant sa sortie. Au total, ce sont plus de 5 millions de Raspberry Pi qui ont été vendus à ce jour [15].

Cet ordinateur, pas plus grand qu'une carte de crédit a permis à un grand nombre de passionnés d'accéder à un système informatique abordable.

Le Raspberry Pi est capable d'afficher des vidéos de qualité Blu-ray full HD, de servir de poste bureautique/Internet, de console de jeu, d'outil d'initiation à l'informatique. Il peut aussi, grâce à ses ports matériels, recevoir des informations de capteurs externes, et piloter des actionneurs pour commander robots et véhicules [10].

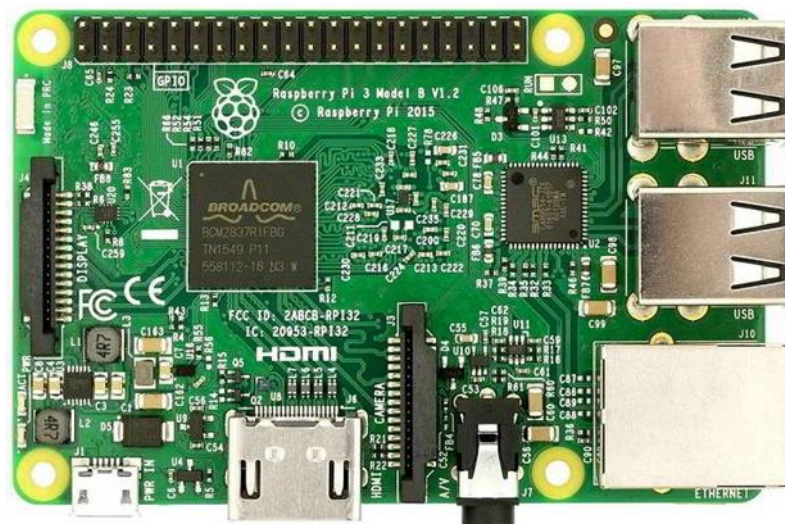


Figure 2.1 : Vue de la carte Raspberry Pi 3 B

C'est surtout d'une volonté de mettre à disposition des enfants et adolescents un ordinateur peu coûteux, leur permettant de découvrir l'informatique et la programmation que le Raspberry Pi avait été conçu par David Braben, un créateur de jeu vidéo. Le Raspberry Pi (figure 2.1) est un nano ordinateur ayant la taille d'une carte de crédit de l'ordre de (85 × 56) mm, capable de diffuser des vidéos en 1080 pixels (full HD = haute définition) à 30 images par seconde. Uniquement composé

Chapitre 2 : Présentation du Raspberry Pi

d'une carte mère, il peut être alimenté par un câble USB, pour ne consommer que très peu d'énergie. Ce dernier regroupe tous les composants nécessaires pour faire "tourner" un système d'exploitation (Linux) afin d'être utilisé comme un véritable PC.

Considéré comme un ordinateur monocarte disposant d'interfaces Wi-Fi et Bluetooth, il possède deux ports USB auxquels peuvent être raccordés un moniteur et un ensemble clavier/souris. Sa sortie vidéo autorise l'accès à un téléviseur **HDMI** (**H**igh **D**efinition **M**ultimedia **I**nterface). Désigné dans la littérature scientifique par le terme anglais "system on a chip" ou (**SoC**), il dispose d'un système complet embarqué sur une seule puce ("circuit intégré"), pouvant comprendre de la mémoire, un ou plusieurs microprocesseurs, des périphériques d'interface, ou tout autre composant nécessaire à la réalisation de la fonction attendue [11].

Son démarrage s'opère depuis une carte micro-SD qui fonctionne sous un Open Source pour l'exécution du système d'exploitation GNU/Linux/Windows 10 IoT et des logiciels compatibles, membre de la famille Windows 10 il apporte puissance, sécurité et facilité de gestion de classe entreprise à l'Internet des objets qui permet l'accès à une technologie de capteurs à coût réduit et faible consommation [15].

Il tire parti de l'expérience intégrée, de l'écosystème et de la connectivité cloud de Windows, acceptant des organisations de créer leur Internet des objets du quotidien (appareils électroménagers, voitures, thermostats, interphones bébés) par l'intermédiaire de terminaux intégrés, rendant les communications possibles en toute transparence entre les personnes, les processus et les appareils sécurisés [11].

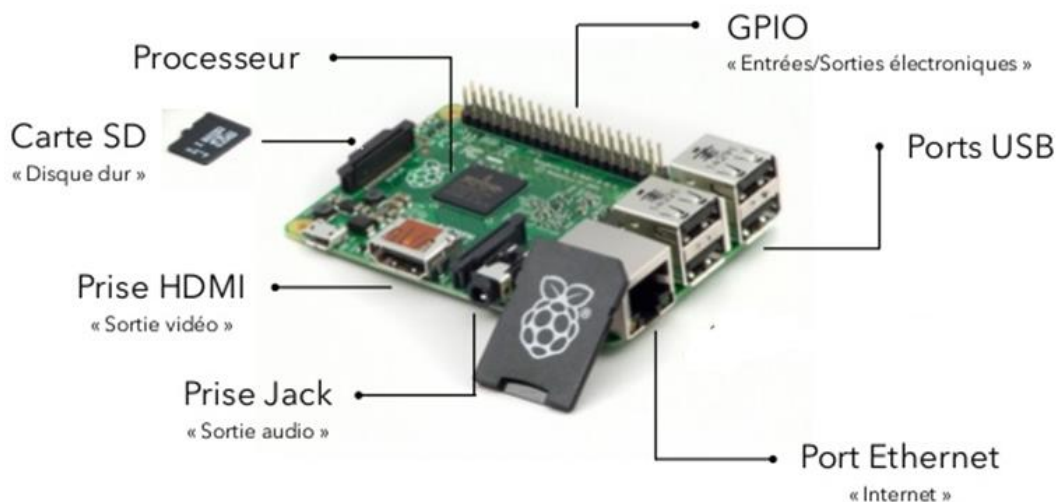


Figure 2.2 : Connecteur, Ports et GPIO du Nano-ordinateur Raspberry Pi 3 B

Pour la préparation sur une carte SD "bootable", il faut disposer d'un PC avec lecteur de carte associée. Le Raspberry pi est fourni sans boîtier, alimentation, clavier, écran et souris dans le but de diminuer le coût et de favoriser l'utilisation de matériel de récupération. Le modèle Raspberry Pi 3 B (**Figure 2.2**) est basé sur un processeur ARM Cortex-A53 64 bits quatre cœurs à 1,4 GHz, possède 1 GB de mémoire RAM, une interface Wi-Fi, une interface Bluetooth, 4 ports USB, un port Ethernet, un port HDMI, un port micro-SD et un connecteur GPIO avec 40 broches d'E/S [15].

Chapitre 2 : Présentation du Raspberry Pi

Les interfaces WiFi et Bluetooth ont été améliorés par rapport à la version Pi 3 et supportent maintenant le Wi-Fi 2,4 et 5 GHz ainsi que le Bluetooth 4.2. L'Ethernet a aussi été amélioré permettant l'accès à des débits jusqu'à 300 Mbps (2x fois plus rapide que le Pi 3).

Basée sur un processeur ARM le Raspberry Pi peut effectuer les tâches conventionnelles d'un PC de bureau (feuilles de calcul, traitement de texte, jeux). Il peut également diffuser des vidéos en haute définition grâce à son circuit Broadcom Videocore IV (permet le décodage des flux Blu-ray full HD). Nous devrions utiliser une carte SD (minimum 8 Go recommandés) pour stocker le système d'exploitation, la vitesse du processeur du Raspberry Pi varié de 700 mhz à 1,2 G. Hz. En outre, il dispose d'une SDRAM intégrée allant de 256 Mo à 1 Go [10].

En revanche, si notre moniteur a un connecteur DVI, il existe des adaptateurs HDMI-DVI bon marché sachant qu'il est possible d'utiliser le Raspberry pi pour se connecter à internet via une clé wifi ou un câble Ethernet, afin d'accéder à une connexion Bluetooth ou faire une collection multimédia avec le logiciel XBMC [10].

La carte Raspberry pi se programme en langage python et peut être utilisée pour faire de la domotique vue qu'au niveau du GPIO (entrées-sorties) peuvent être branché des capteurs et des actionneurs (senseurs optiques, thermiques, moteurs, etc....).



Figure 2.3 : Bureau du Raspberry pi (Debian OS)

Le démarrage correct du Raspberry pi se traduit par l'obtention du bureau Linux illustré en **Figure 2.3** En fait, il s'agit vraiment d'un ordinateur complet, avec une suite bureautique, des fonctionnalités de lecture vidéo, des jeux, etc. Il est à remarquer que ce nano-ordinateur ne s'exécute pas sous Microsoft Windows. En effet, à la place, on a la concurrente open source de Windows, Linux (une distribution Debian), et un environnement de fenêtrage appelé LXDE [9].

2.3 Connectique de la carte Raspberry Pi

Le Raspberry Pi est un micro-PC constitué uniquement d'une carte mère. Cette dernière contient tout le matériel vital pour fonctionner. En effet, tout autour de la partie centrale, on retrouve différentes connectiques permettant de brancher des périphériques afin d'interagir avec l'ordinateur. Au centre

Chapitre 2 : Présentation du Raspberry Pi

se trouve une puce contenant un processeur, de la RAM et un processeur graphique : cette partie constitue le cœur de l'ordinateur. Sur le schéma, elle se situe à côté du libellé "256 MB RAM, CPU & GPU " [10].

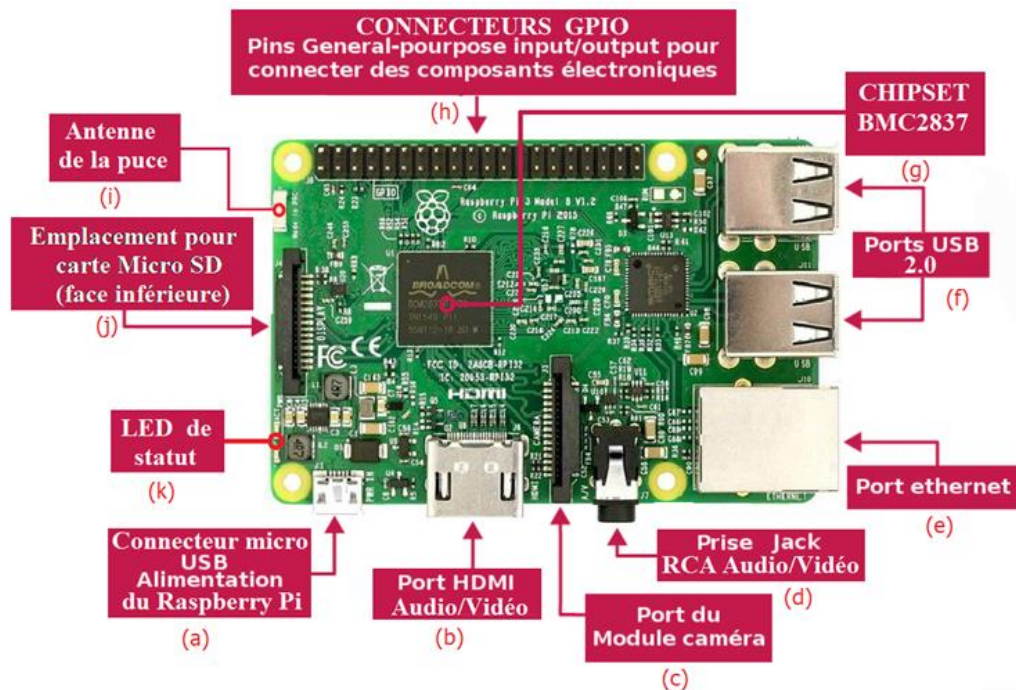


Figure 2.4 : Carte Raspberry pi 3 B et connecteurs associés

Chaque "élément" sera identifié grâce à son nom sur le schéma de la **Figure 2.3** afin d'avoir la connectique exhaustive offerte par le Raspberry Pi. En effet, la description se fera dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en démarrant par l'alimentation [10].

- L'**alimentation** de la carte mère se fera via le connecteur micro-USB.
- Le **port HDMI** permet de récupérer le flux audio et vidéo numérique produit par l'ordinateur. Il est généralement relié à un écran ou un téléviseur.
- Le **port du module caméra** permet de créer des vidéos HD et des photos fixes.
- La **prise RCA**, format classique utilisé par les casques audio et les enceintes permet de connecter une prise jack 3.5 mm pour lire les données audio analogique.
- Le **port Ethernet** ou "LAN" permet de se connecter au réseau en filaire.
- Le (ou les) **port USB** permet le branchement vers une multitude de périphériques comme un clavier, une souris, un dongle wifi, une clé USB, un disque externe...
- Le **chipset BCM2837** est un processeur quadricœur 1,2 GHz 64 bits, compatible avec toutes les dernières distributions **ARM GNU / Linux**.
- Le **connecteur GPIO** : sont des ports d'**entrées/sorties** paramétrables
- L'**Antenne** est une cavité accordée pour la communication simultanée **Wi-Fi 802.11 ac** à **2,4 GHz** et **5 GHz** via **Bluetooth** et **Bluetooth Low Energy (BLE)**. Le circuit est revêtu d'une carapace métallique qui protège l'ensemble des perturbations électromagnétiques (EMI).
- L'emplacement de la **Carte micro SD** représente le port pour la lecture des carte SD.
- Le **LED de statut** désigne les diodes lumineuses situées sur la carte mère pour clignoter et changer de couleur en fonction du statut de l'appareil en fonctionnement ou à l'arrêt.

Chapitre 2 : Présentation du Raspberry Pi

Remarque : La prise **RCA**, dont l'acronyme signifie **R**adio **C**orporation of **A**merica reste un type de connectique électrique très répandu. Créée en 1940, on la retrouve encore de nos jours dans la plupart des foyers. À l'origine, la fiche a été conçue pour remplacer les anciennes fiches téléphoniques des centraux téléphoniques manuels. Elle a été lancée sur le marché au moment où les cassettes et les magnétoscopes étaient les vedettes. Elle permet de transmettre des signaux audio et vidéo (en mono ou stéréo) via un câble composé de deux fils, selon un mode de transmission analogique ou numérique. Etant peu chère à produire, la connectique RCA reste compatible avec la majorité des formats vidéo proposés.

2.3.1 Présentation du port GPIO

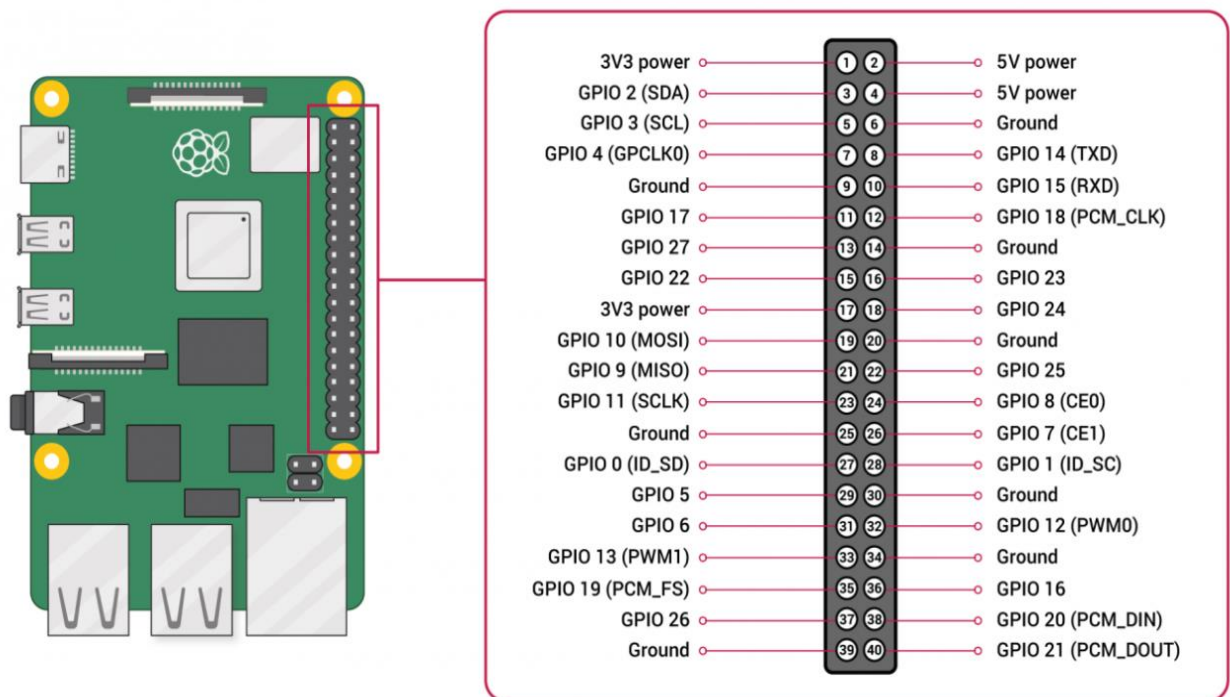


Figure 2.5 : Vue du port physique du GPIO de la carte Raspberry Pi

Les ports **GPIO** (**G**eneral **P**urpose **I**nterface **O**utput) traduisant les Entrée-sortie à usage général très utilisés dans le monde des microcontrôleurs, en particulier dans le domaine de l'électronique embarquée, qui ont fait leur apparition au début des années 1980. Elles sont placées sur un module afin de communiquer avec des composants électroniques et circuits externes. Il peut s'agir de détecteurs ou senseurs pour capter des données, ou encore de contrôler des commandes [9].

2.4 Accessoires pour le Raspberry Pi

a) Bloc d'alimentation

La **figure 2.6-(A)** illustre un bloc d'alimentation USB classique avec un câble USB-A vers micro-USB [13].

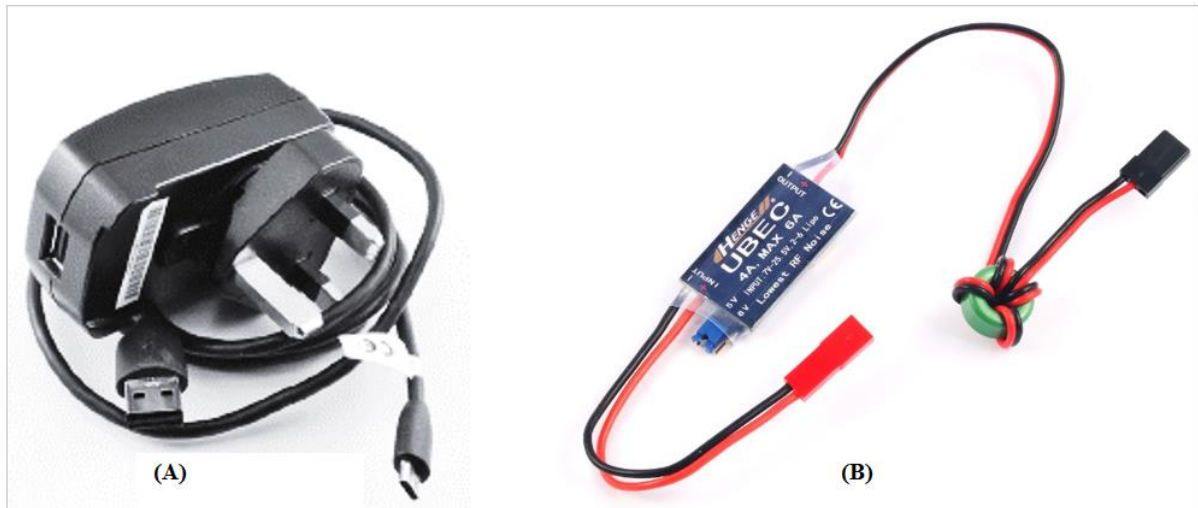


Figure 2.6 : Vue de l'alimentation USB (A) et du circuit éliminateur de batterie (BEC) (B)

Il est possible d'utiliser une alimentation d'un ancien lecteur MP3 ou similaire, tant que sa tension de 5 volts puisse fournir suffisamment de courant sans surcharge qui pourrait entraîner un chauffage excessif de la carte et de la faire tomber en panne (voire provoquer un incendie).

Cette alimentation doit être, par conséquent, capable de fournir un courant d'au moins de 700 mA. Nous avons choisi 1 A pour donner au Raspberry Pi une marge suffisante qui sera utilisée par les périphériques connectés à ses ports USB [13].

On peut aussi alimenter le Raspberry Pi via les deux pins V_{CC} 5V et GND grâce à un **BEC** (**B**attery **E**liminator **C**ircuit, **figure 2.6-(B)**) qui est un circuit électronique conçu pour fournir de l'énergie électrique à d'autres circuits sans avoir besoin de plusieurs batteries.

b) Clavier et souris

Le Raspberry pi fonctionne avec pratiquement tout type de claviers et souris USB sachant que l'on peut utiliser ceux, sans fil [13].

c) Affichage

La présence d'une sortie vidéo RCA sur le Raspberry Pi est, de privilégier le connecteur HDMI avec un téléviseur LCD de 22 pouces bon marché ou utiliser le téléviseur familial [13].

2.5 Modèles et choix de la carte Raspberry Pi

2.5.1 Modèles de la carte Raspberry pi

Tous les modèles de carte sont répartis en trois familles subdivisés en modèles. En effet, chaque modèle appartient à une famille A, B ou Zéro destiné à un usage différent [16].

En effet, nous avons les familles :

- **A** avec modèle **A** et **A+** utilisées avec moins de matériel (pas de ports Ethernet, moins de RAM), et caractérisé par une faible consommation d'énergie par rapport à la famille **B**.
- **B** avec modèle **B**, **B+** et modèle **B** de génération 2 utilisée avec un meilleur matériel. Ces modèles sont plutôt destinés à des utilisations plus exigeantes en ressources comme le traitement de texte ou le visionnage de vidéos.

Chapitre 2 : Présentation du Raspberry Pi

- **Zéro** utilisée avec moins de matériel (pas de ports Ethernet, même RAM que la famille B, mini HDMI, miro USB, GPIO à souder).

Type de cartes	Caractéristiques de comparaison					
	CPU	GPU	Mémoire (SDRAM)	Nombre de ports USB	Sorties vidéos	Sorties audio
1 A	700 MHz ARM1176JZF-S core (ARM11)92	Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, MPEG-2 et VC-1 (avec licence), 1080p30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile décodeur et compresseur	256 Mo (intégré avec GPU)	1 (2.0)	HDMI et Composite (via une Prise RCA 1 A/B, ou un connecteur Jack 1 A+/B+)	stéréo Jack 3,5 mm sortie son 5.1 sur la prise HDMI
1 A+			512 Mo (intégré avec GPU) au 15 octobre 2012	2 (2.0)		
1 B				4 (2.0)		
1 B+						
Zero	1 GHz ARM1176JZF-S core (ARM11)			1 (Micro-USB) (2.0)	Mini HDMI et Composite	Mini-HDMI
Zéro W						
Zero WH						
2 B	900 MHz quadricœur ARM Cortex-A7 (jeu d'instructions ARM v7)	Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, MPEG-2 et VC-1 (avec licence), 1080p30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile décodeur et compresseur	1 Go	4 (2.0)	HDMI et Composite (via un connecteur Jack)	stéréo Jack 3,5 mm sortie son 5.1 sur la prise micro-HDMI
3 B	1,2 GHz quadricœur ARM Cortex-A53					
3 A+	1,4 GHz quadricœur ARM Cortex-A53					
3 B+	1,4 GHz quadricœur ARM Cortex-A53					
4 B	1,5 GHz quadricœur ARM Cortex-A72	Broadcom VideoCore VI, OpenGL ES 3.0	1 Go / 2 Go / 4 Go / 8 Go	2 (2.0) 2 (3.0)	2 Micro HDMI et Composite pour 4B	stéréo Jack 3,5 mm sortie son 5.1 sur la prise micro-HDMI
400	1,8 GHz quadricœur ARM Cortex-A72		4 Go	1 (2.0) 2 (3.0)		

Tableau 2.1 : Modèles et caractéristiques du Raspberry Pi (1) [15]

Type de cartes	Caractéristiques de comparaison							
	Connec- tique réseau	Wifi 802. 11	Bluetooth	Périphériques bas niveau	Puissance nominale	Source d'alimentation	Systèmes d'exploitation	
1 A	Non			8× GPIO pour (1 A/B)/ 17× GPIO pour (1 A+/B+) UART, I ² C bus, SPI bus avec deux chip selects, I ² S audio +3,3 V,+5 V	300 mA (1,5 W)	5 volt via Micro-B USB ou GPIO header	Debian GNU/Linux, Raspbian OS, Fedora, Arch Linux ARM, RISC OS, FreeBSD, Plan 9, Kali Linux	
1 A+					200 mA (1 W)			
1 B	10/100 Ethernet	Non		700 mA (3,5 W)				
1 B+				600 mA (3 W)				
Zero	Non			GPIO à souder	60 mA (0,8 W)			
Zero W	Non	n	4.1 BLE		Non précisé			
Zero WH					180 mA			
2 B	10/100 Ethernet	Non		17 × GPIO, UART, I ² C bus, SPI bus avec deux chip selects, I ² S audio, +3.3 V, +5 V	800 mA (4 W)			idem modèle 1 + Snappy Ubuntu Core , SolydX RPI, Windows 10 IoT
3 B		n						
3 A+	Non	4.1 BLE			Non précisé			
3 B+	10/100/1000 Ethernet	ac			800 mA (4 W)			
4 B			5.0 BLE		3 A (15 W)	5 V via USB-C ou GPIO header		
400					5 V via USB-C			

Tableau 2.2 : Modèles et caractéristiques du Raspberry Pi (2) [15]

Les tableaux 2.1 et 2.2 regroupant les différentes familles et modèles du Raspberry Pi associés à leurs caractéristiques.

2.5.2 Choix de la carte Raspberry Pi

Pour le parcours de notre projet nous avons optés pour le modèle B, point fort de cette nouvelle déclinaison du Raspberry Pi 3 qui se situe au niveau de la connectivité réseau. En effet, la puce réseau Cypress du modèle B combine du **Bluetooth 4.1** et du **Wi-Fi n Dual Band** pour plus de rapidité et de moins de latences [18].

Le filaire n'est pas laissé de côté puisque bénéficions d'un contrôleur **Gigabit Ethernet** avec trois fois plus de bande passante que la génération précédente. Le reste des composants et connectiques restant identiques, nous disposons du **header GPIO 40 broches**, les connectiques pour un écran tactile et une caméra et les 4 ports USB 2.0. De nombreuses heures de configuration et de programmation ont été nécessaires pour maîtriser la personnalisation du système nano-PC [18].

2.6 Protocole de contrôle de la carte Raspberry Pi

2.6.1 Installation du système d'exploitation

Nous devons d'abord installer un système d'exploitation sur le Raspberry Pi en flashant une carte SD (8 Go minimum) que nous avons insérer dans son support. Le système d'exploitation original dénommé **Raspbian**, récemment connu sous le nom de **Debian** est un système a base linux, (Il existe d'autres systèmes d'exploitation mentionnée dans le tableau 2.1) [10].

Pour ce faire, nous avons téléchargé **Raspberry pi imager** depuis le site officiel (raspberrypi.org) sur un PC ordinaire, en insérer notre carte SD dans ce PC à l'aide d'un lecteur carte mémoire.

Une fois **Raspberry pi imager** installé, nous l'avons exécuté et formaté notre carte SD [14].



Figure 2.7 : Vue du Panel Raspberry pi imager

Pour "flasher" la carte on clique sur "**CHOISISSEZ L'OS**" et en sélectionnant Debian OS (32 bits). L'appui sur l'icône "**CHOISISSEZ LE STOCKAGE**" permet de choisir notre carte SD afin de cliquer sur "**ÉCRIRE**" pour y démarrer l'installation de son **Open Source**. L'attente de la fin de l'installation est nécessaire pour pouvoir retirer la carte SD du PC [14].

2.6.2 Fonctionnement du Raspberry pi

Pour faire fonctionner le Rpi, il faut insérer la **carte SD** (flashé) dans ce dernier et y connecter un **clavier**, une **souris**, un **câble HDMI** branché à un écran. Son alimentation se fera grâce à un **bloc d'alimentation** de **5V, 2A** ou un **câble USB** connecté avec un autre ordinateur [10].

Lorsque le démarrage du Raspberry pi se fait pour la première fois, l'application **Bienvenue sur Raspberry pi** apparaît en nous guidant tout au long de la configuration initiale [10].

1. Cliquez sur **Next** pour démarrer la configuration.
2. Définissez votre pays, votre langue et votre fuseau horaire, puis cliquez à nouveau sur **Next**.
3. Entrez un nouveau **mot de passe** pour votre Rpi et cliquez sur **Next**.

Chapitre 2 : Présentation du Raspberry Pi

4. Connectez-vous à votre réseau **WiFi** en sélectionnant son nom, en entrant le mot de passe et en cliquant sur **Next**, (si votre modèle Rpi n'a pas de connectivité sans fil, vous ne verrez pas cet écran).
5. Cliquez sur **Next** pour laisser l'assistant vérifier les mises à jour de **Raspbian** et les installer.
6. Cliquez sur **Done** ou **Reboot** pour terminer la configuration.

2.6.3 Configuration des interfaces

Suivant le choix d'utilisation du **Raspberry pi**, nous aurons besoin de configurer ses **interfaces**, selon les exigences d'utilisation. Neuf interfaces coexistent, qui sont :

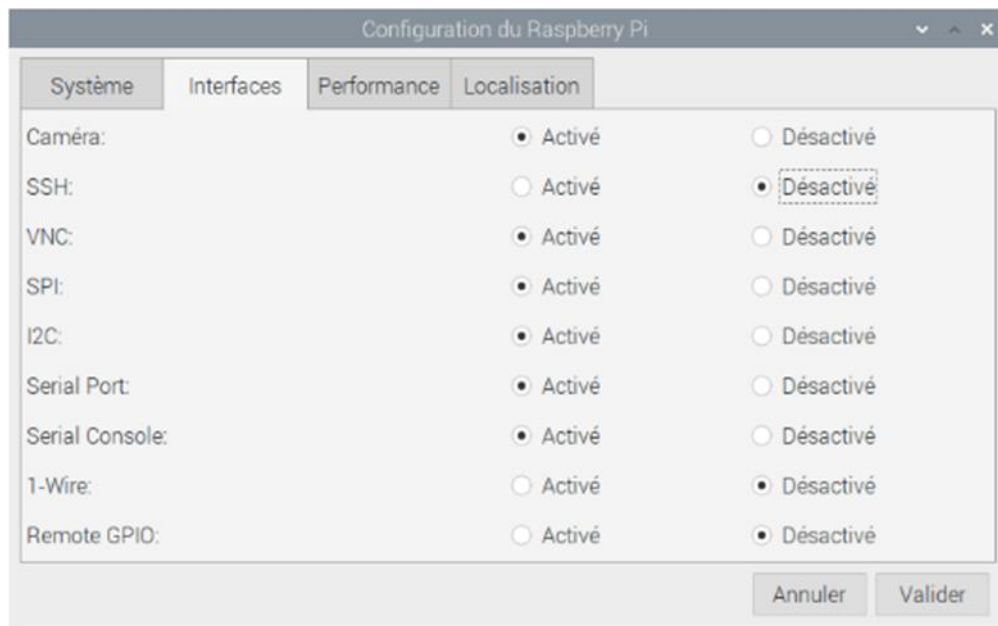


Figure 2.8 : Les interfaces du Raspberry pi

- **Caméra** = permet de contrôler une caméra raccordée sur le port CSI.
- **SSH** = permet d'administrer à distance avec le protocole SSH.
- **VNC** = bureau à distance, (utilisation à distance par d'autres appareils intelligent via l'application VNC viewer).
- **SPI** = permet de contrôler tout module fonctionnant en SPI.
- **I2C** = permet de contrôler tout module fonctionnant en I2C.
- **Serial Port** = permet de contrôler tout module fonctionnant avec le port Série.
- **Serial Console** = permet de contrôler votre Rpi à partir d'un terminal extérieur (Linux, Windows, Mac).
- **1-Wire** = permet de contrôler tout module fonctionnant avec le protocole 1-Wire.
- **Remote GPIO** = permet de contrôler le port GPIO à partir d'une autre carte Rpi sur le même serveur.

2.6.4 Utilisation du Raspberry pi

Une fois, la configuration acceptée, nous pouvons utiliser le Raspberry Pi comme un simple ordinateur, en installant ou désinstallant des packages, des logiciels et des applications en utilisant **Terminal** (système Linux), et faire beaucoup d'autres choses (naviguer sur des pages web), mais le plus

Chapitre 2 : Présentation du Raspberry Pi

important, nous pouvons programmer et contrôler différents matériels connectés à Raspberry Pi via les broches GPIO et construisons de nombreux projets intéressants [12].

Raspberry Pi exécute une version d'un système d'exploitation Linux (Windows et macOS sont d'autres systèmes d'exploitation).

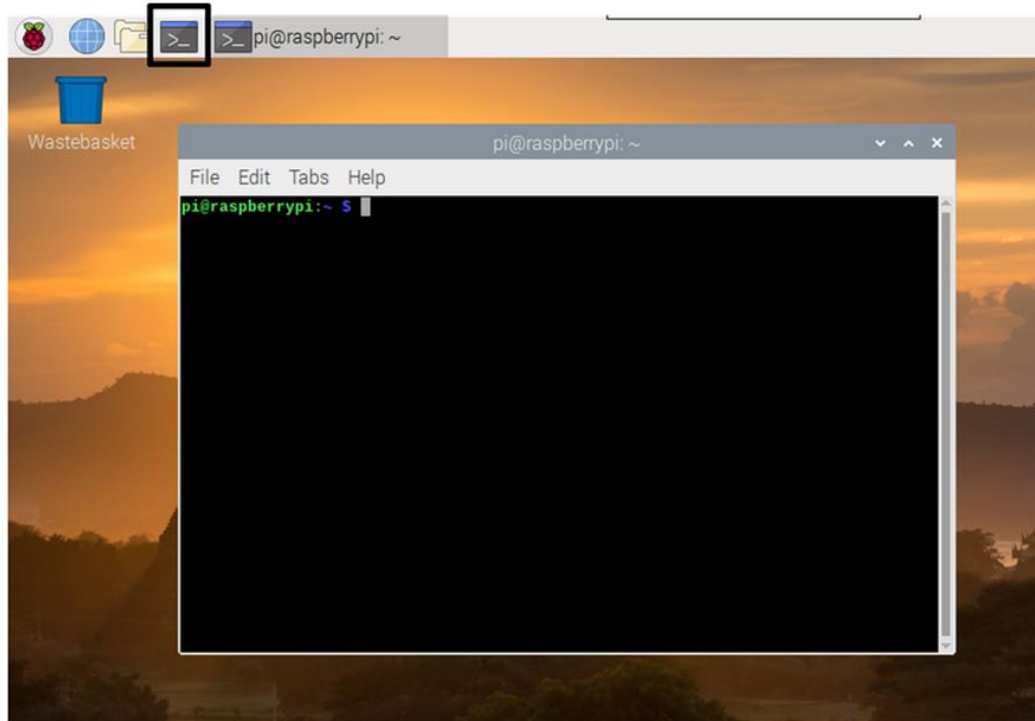


Figure 2.9 : Vue Terminal du Raspberry pi

2.6.5 Langages de programmation utilisés sur Raspberry pi

La fondation Raspberry Pi recommande **python** comme un langage principal. Le Pi dans Raspberry Pi vient même du langage de programmation python ; l'idée même de programmation se reflète dans le nom de l'appareil [17].

Tout langage qui compilera pour **ARMv6** peut être utilisé avec le Raspberry Pi, ces langages de programmation sont [17] :

- Python.
- Language C.
- C++.
- Java.
- Scratch.
- Ruby.
- HTML5.
- JavaScript.

2.7 Contrôle à distance du Raspberry Pi

Le contrôle à distance d'un Raspberry Pi depuis un autre ordinateur est particulièrement intéressant dans certaines situations ou utilisations particulières, par exemple si on ne souhaite pas l'utiliser

Chapitre 2 : Présentation du Raspberry Pi

comme un "simple" micro-ordinateur, mais plutôt comme un objet connecté avec des fonctions spécifiques en matière de multimédia ou de domotique.

Il existe deux moyens pour opérer cette prise de contrôle à distance :

- via **SSH**, uniquement en ligne de commande dans un terminal (le plus « rapide » et efficace dans certains cas, et quand on est un utilisateur assez avancé),
- via **VNC**, avec une interface graphique complète habituelle et prise en charge du clavier et de la souris.

2.7.1 Contrôle via SSH

Pour les ordinateurs avec système **Windows** il faut télécharger l'application **PuTTY** et faire entrer l'adresse de Raspberry Pi, suivit du nom et du code pour accéder au Raspberry Pi et d'en commencer le contrôle. Pour les appareils avec un système **Linux**, il suffit d'ouvrir le terminal de commande et écrire l'adresse, suivie du nom et du code associé [9].

2.7.2 Contrôle via VNC

En tant qu'application disponible pour tous les systèmes d'exploitation, c'est une interface graphique complète habituelle très pratique pour être efficace. En effet, compatible avec plusieurs appareils (PC, MAC et Smartphone), il suffit d'installer l'application **VNC Viewer** sous n'importe quel system d'exploitation pour ouvrir une nouvelle connexion et y ajouter l'adresse du Raspberry Pi, suivie du nom et du code d'accès pour engager le contrôle à distance.

2.8 Les différentes utilisations du Raspberry Pi

Comme le Raspberry pi est le plus populaire et le plus accessible des nano-ordinateurs de nos jours, la création de ce nano-ordinateur, à induit de nombreux projets dans différents domaines d'applications en relation avec des applications dans l'automatique, la robotique, le traitement du signal, la télécommunication, les réseaux, ainsi que l'informatique, l'électronique et l'intelligence artificielle [11].

Pour ne citer que quelques exemples de projets, le Raspberry pi est utilisé en [11] :

- Commande et contrôle de quadricoptère avec autopilote pixhawk.
- mini borne arcade portative.
- Station météo.
- média-center : lecture de vidéo, musique et images.
- PC de bureau pour le traitement de texte, l'utilisation de tableur, la consultation d'e-mails...
- Surface LED interactive.
- Système de pompage automatique pour machine à café.
- Contrôle de la qualité de l'air.
- Station de vidéoconférence pour Zoom, Skype et autres logiciels.
- Répéteur Wifi.
- Imprimante 3D.

2.9 Conclusion

Le Raspberry pi est un petit ordinateur monocarte. En connectant des périphériques comme le clavier, la souris, l'écran au Raspberry Pi, il agira comme un nano-ordinateur personnel utilisé pour le traitement d'image / vidéo en temps réel, les applications basées sur l'IoT et les applications robotiques. Il est plus qu'un ordinateur car il permet d'accéder au matériel sur puce, c'est-à-dire aux GPIO pour développer une application. En accédant à GPIO, nous pouvons connecter des appareils tels que des LED, des moteurs, des capteurs, etc. et les contrôler également.

Nous devrions utiliser une carte SD (minimum 8 Go recommandés) pour stocker l'OS. Nous pouvons installer plusieurs versions tierces d'OS sur le Raspberry Pi comme Debian, Ubuntu, Archlinux, RISC OS, Windows 10 IoT Core, etc.

Il est possible de contrôler le Raspberry Pi à distance par un ordinateur (PC ou MAC), et aussi avec un Smartphone via SSH ou VNC à condition que le Raspberry Pi et l'appareil utilisé pour le contrôle soient connectés au même réseau.

Les domaines d'intervention du Raspberry Pi sont très vastes. Il est également possible de mettre en place toutes sortes de projets qui sortent de l'ordinaire. Le degré de connaissances préalable pour mener à bien ces projets varie grandement. Avec des connaissances dans le domaine de l'informatique, l'électronique...etc.

CHAPITRE 3 : ÉQUIPEMENTS ET LOGICIELS, MÉTHODES DE PROGRAMMATION

3.1 INTRODUCTION

Ce chapitre s'articule autour de la définition de notre cahier des charges pour se diviser en deux parties. En effet, la première est consacrée à la réalisation de notre système de navigation subdivisée en sections hard et soft pour avoir été exploitées dans la phase de réalisation.

La deuxième partie a été destinée à l'explication des différentes méthodes utilisées pour programmer notre système.

3.2 Cahier des charges

Notre projet consiste à contrôler à distance, un aéronef à voilure tournante (UAV) sans passer ni pilote qui peut voler de façon autonome en utilisant une carte de développement Raspberry Pi, comme cerveau de notre système. Cette carte devant être capable de traiter tout le paysage réceptif collectés par les capteurs respectifs d'accélération linéaires et angulaires (gyromètre), de températures et du GPS, en temps réel, ainsi que tout le dispositif de commande et de contrôle des moteurs brushless et servomoteurs utilisés dans cette réalisation (**Figure 3.1**).

Un joystick et un smartphone sont connectés avec la carte Raspberry Pi via Bluetooth et Wi-Fi respectivement pour assujettir le système à distance. Les résultats reçus par les capteurs et la caméra devant être affichés sur le smartphone. La Pi caméra et les servomoteurs sont intégrés sur un support ayant une mobilité à deux degrés de liberté. Tous les outils utilisés seront regroupés et implantés dans une carte à réaliser et que sera compatible avec la carte de développement.

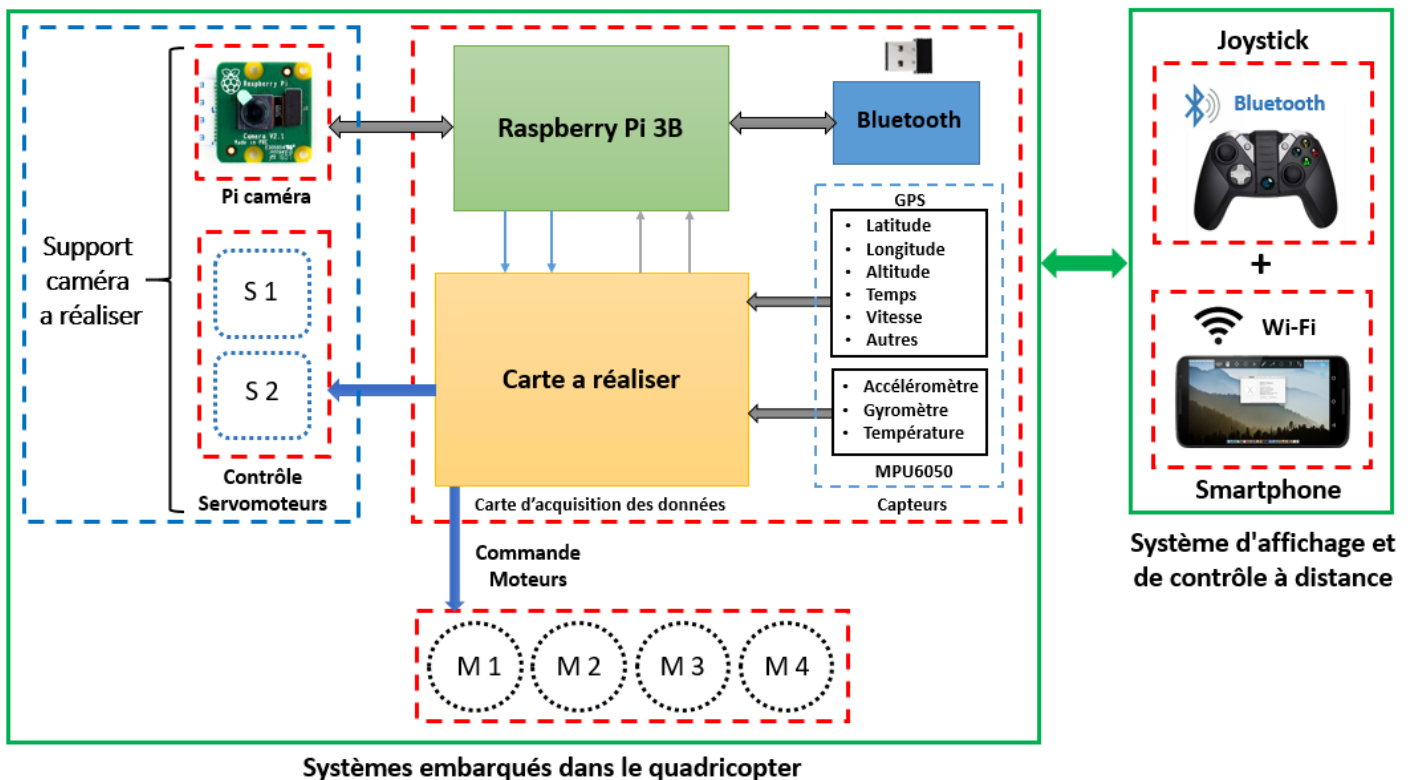


Figure 3.1 : Architecture de système à réaliser

3.3 Présentation des différents éléments du système de contrôle

3.3.1 Environnement d'acquisition et de traitement

3.3.1.1 La Carte Raspberry Pi 3 B

La carte Raspberry Pi est le microprocesseur principal du système de navigation. Elle fait partie de catégorie des microcontrôleurs, c'est-à-dire d'ordinateur miniature capable de stocker des données, de recevoir et envoyer des informations. Le modèle de carte Raspberry Pi utilisée est le 3B [18].

Spécifications :

- Cadencement : 1,2 GHz
- Puce (SoC) : Broadcom BCM2837
- Processeur : ARM Cortex-A53 64 bits quatre cœurs
- Mémoire (SDRAM) : 1GB LPDDR2
- Nombre de ports USB 2.0 : 4
- Port extension : GPIO 40 pins
- Sorties vidéos : HDMI et RCA, plus 1 connecteur de caméra CSI
- Sorties audio : Stéréo Jack 3,5mm ou HDMI
- Connexion réseau : 10/100 Ethernet, WiFi 802.11n et Bluetooth 4.1 (BLE - Low Energy)
- Périphériques : 17 × GPIO
- Alimentation : 5v 2.5A via micro-USB

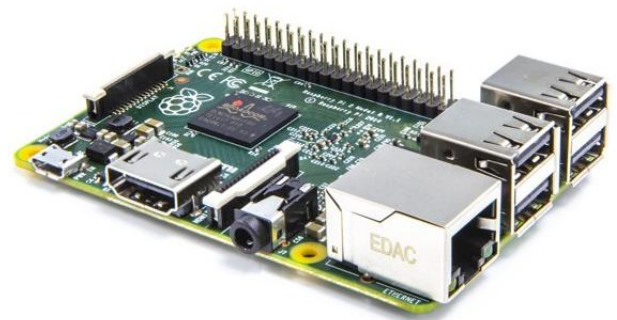


Figure 3.2 : Vue de la Carte Raspbery pi 3B

3.3.1.2 Présentation des différents Capteurs

La qualité et la précision des capteurs permettent d'avoir une bonne contrôlabilité du drone dans l'espace sous couvert d'une acquisition correcte des paramètres issus des différents signaux. Notre projet, a porté sur l'utilisation des modules **MPU6050 GY-521** et **GPS Néo 6M** sous le compromis du rapport qualité/prix fonction leur disponibilité sur le marché.

- **Le module GPS NEO 6M**

Le module **GPS NEO-6M (Figure 3.3)** est un récepteur **GPS** complet très performant avec son antenne céramique intégrée, qui offre une capacité de recherche par satellite puissante, puisqu'il peut traquer jusqu'à 22 satellites sur 50 canaux, tout on ne consommant un faible courant d'alimentation de l'ordre de 45 mA. Grâce à la pile de sauvegarde des données, le module peut conserver les données en cas de coupure accidentelle de l'alimentation principale [19].

Caractéristiques de GPS :

- Alimentation : 3V/5V
- Batterie : batterie de secours rechargeable
- Signal lumineux : lumière à DEL

Chapitre 3 : Équipements et logiciels, Méthodes de programmation

- Dimensions de l'antenne : 25 x 25 (mm)
- Dimensions du modèle : 25 x 35 (mm)
- Débit en bauds par défaut : 9600
- Taux de mise à jour de la position : 5Hz



Figure 3.3 : Vue du module GPS NEO M6

- **Le module accéléromètre gyroscope MPU6050**

Le capteur (**Figure 3.4**) porte la référence **GY-521** pivotant autour d'un **MPU6050** et est composé de deux senseurs et d'un processeur [19]. Son environnement est constitué d'un capteur :

- Accéléromètre 3 axes (x, y, z) qui mesure l'accélération.
- Gyroscope 3 axes qui mesure la vitesse angulaire.
- Un processeur de mouvement digital (DMP) capable de stocker des données et les restituer.
- Un capteur de température.



Figure 3.4 : Vue du module MPU6050

Le module fonctionne en esclave sur le bus I2C vis à vis de la Raspberry Pi 3 (pins SDA, SLC).

Le MPU 6050 possède une puce MEMS très précise avec une conversion analogique-digitale sur 16 bits simultanée sur chaque canal et une interface I2C (400 kHz).

3.3.1.3 Le module Pi Caméra

Module de caméra haute définition compatible avec le Raspberry Pi modèle 3 B. Fournit une sensibilité élevée, une faible diaphonie et la capture d'image à faible bruit dans un ultra petit et léger concevoir. Le module de caméra se connecte au Raspberry Carte Pi via le connecteur CSI conçu spécifiquement pour l'interfaçage aux caméras.

Le bus CSI est capable d'extrêmement débits de données élevés, et il transporte exclusivement des données de pixels à la Processeur [33].

Caractéristiques de la caméra :

- Capteur d'image : Omni vision 5647 CMOS dans un module à mise au point fixe
- Taux de transfert d'image maximal : 1080p 30fps or 720p 60fps
- Connexion au Raspberry Pi : Câble ruban 15 broches, vers 15 broches dédiée à MIPI la série de caméra
- Résolution : 5 mégapixels (2592 x 1944)



Figure 3.5 : Vue du module Pi caméra

3.3.1.4 Le Servomoteur SG90

Un servomoteur est un système qui vise à produire un mouvement précis en réponse à une commande externe. C'est un actionneur (système produisant une action) qui mélange l'électronique, la mécanique et l'automatique. Il est composé d'un moteur à courant continu avec deux caractéristiques spéciales : au lieu d'avoir une rotation constante, il est asservi en position angulaire et il peut pivoter d'environ 180°, cela signifie que l'axe de sortie du servomoteur respectera la consigne d'instruction et maintiendra sa position fixe permettant de contrôler la vitesse de rotation [34].

Caractéristiques du servomoteur :

- La tension de fonctionnement est +5V
- Couple : 2.5kg / cm
- La vitesse de fonctionnement est de 0,1 s/60°
- Rotation : 0°-180°
- Poids du moteur : 9gm



Figure 3.6 : Vue du Servomoteur SG90

3.3.1.5 Dispositif de contrôle par Bluetooth et Smartphone

Pour le control de système on a choisi le **Joystick GameSir G4s + un Smartphone.**

GameSir G4s est un joystick sans fil adopte une puce avec capacité de calcul jusqu'à 48 millions de fois par seconde, ce joystick offre une sensibilité et une précision élevées dans le contrôle. La batterie au lithium polymère 800mAh intégrée dure 18 heures dans des conditions normales et elle est rechargeable via un câble micro-USB. Le joystick GameSir G4s est compatible avec plusieurs plateformes : Android, Windows PC, linux OS, Play station...etc, via trois connexions principales [35] :

- Bluetooth 4.0
- 2.4Ghz sans fil dongle
- Connexion filaire.

Le Bluetooth 4.0 du joystick a une portée de connexion de 8 mètres et il dispose d'un profil low-energy qui réduit considérablement la consommation d'énergie de la batterie [35].

Nous utiliserons le support du joystick pour tenir le smartphone qui va être utilisé pour l'exploitation à distance de système via l'application VNC Viewer.

Quel que soit le type de smartphone que nous allons utiliser, il suffit qu'il soit en bon état et dispose de suffisamment de stockage.



Figure 3.7 : Vue de l'ensemble Joystick G4s et Smartphone associé

3.3.1.6 QUADRIROTOR du test

La plate-forme utilisée pour tester la carte Raspberry Pi 3 B est un quadri-rotor fabriqué au niveau du centre de recherche en technologie industrielle CRTI avec les caractéristiques suivantes :

a) Motors Brushless

Les quatre moteurs utilisées sont des moteurs Brushless SunnySky V2216-11, ils sont caractérisés par :

- Dimensions : 48 × 28 mm
- Poids : 39 g.
- Puissance : 210 W.
- KV : 900 tr/min.
- Tension : 10 V
- Courant : 0.4 A



Figure 3.8 : Vue du Moteur Brushless

b) Les contrôleurs de vitesse des moteurs ESCs

Le contrôleur de vitesse des moteurs doit être compatible avec le moteur et la batterie. Chaque moteur a besoin d'un ESC. Les caractéristiques de l'ESC sont :

- Vitesse Maximum : 210000 t/min pour 2 pôles, 70000 t/min pour 6 pôles, 35000 t/min pour 12 pôles.
- Courant de sortie : 40A continue.
- BEC : 3A / 5V.
- Dimensions : 55mm x 28mm x 12mm.
- Résistance de sortie extrêmement basse, très bonne résistance au courant.
- Multiple protections : Coupure basse tension / Température / Perte de signal.
- 3 modes de démarrage : Normal / Soft / Super-Soft.

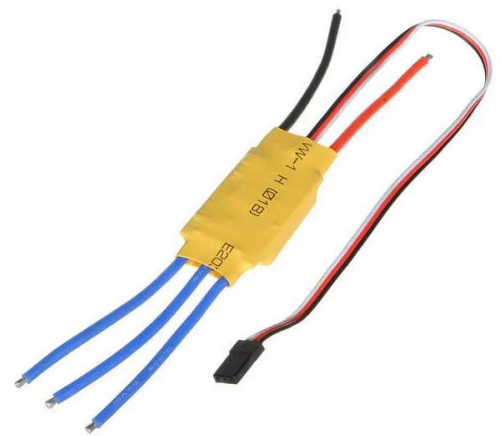


Figure 3.9 : Vue d'un contrôleur de vitesse ESC

c) Les Hélices

L'hélice utilisée est en matière plastique qui présente les caractéristiques suivantes :

- Le diamètre (généralement en pouce) : 9"
- Le pas (en pouce aussi) : 5"
- Poids : 9.6g



Figure 3.10 : Vue du profil de l'hélice

d) La Batterie

La batterie utilisée sur le quadrirotor est du type Lipo 4S.

Elle a les caractéristiques suivantes :

- Capacité : 6300 mAh
- Tension : 14.8 V
- Courant de décharge continu : 30 C
- Energie : 93.2 Wh
- Dimension : 155 × 48 × 24 mm
- Poids : 375 g
- Prise principale : EC5 femelle
- Prise d'équilibrage : JST-XH



Figure 3.11 : Vue de la Batterie Lipo 4s



Figure 3.12 : Vue du quadrirotor CRTI

3.3.1.7 Carte d'acquisition (PCB)

La carte d'acquisition à réaliser est une carte imprimée qui est un support plan (Shield), qu'on déposera au-dessus de notre microprocesseur Raspberry Pi 3 B. Cette carte regroupe les différents capteurs et outils utilisés (MPU6050, GPS, Les servomoteurs et Les ESCs).

Le PCB de cette carte est réalisé par le logiciel ARES professionnel (Proteus 8.12), qui est un circuit à double face à trous métallisés : c'est-à-dire un circuit contenant deux couches et une métallisation par bain chimique qui est utilisé pour déposer une couche de 24 micromètre dans les trous et qui servira de liaison entre la couche 01 et la couche 02.

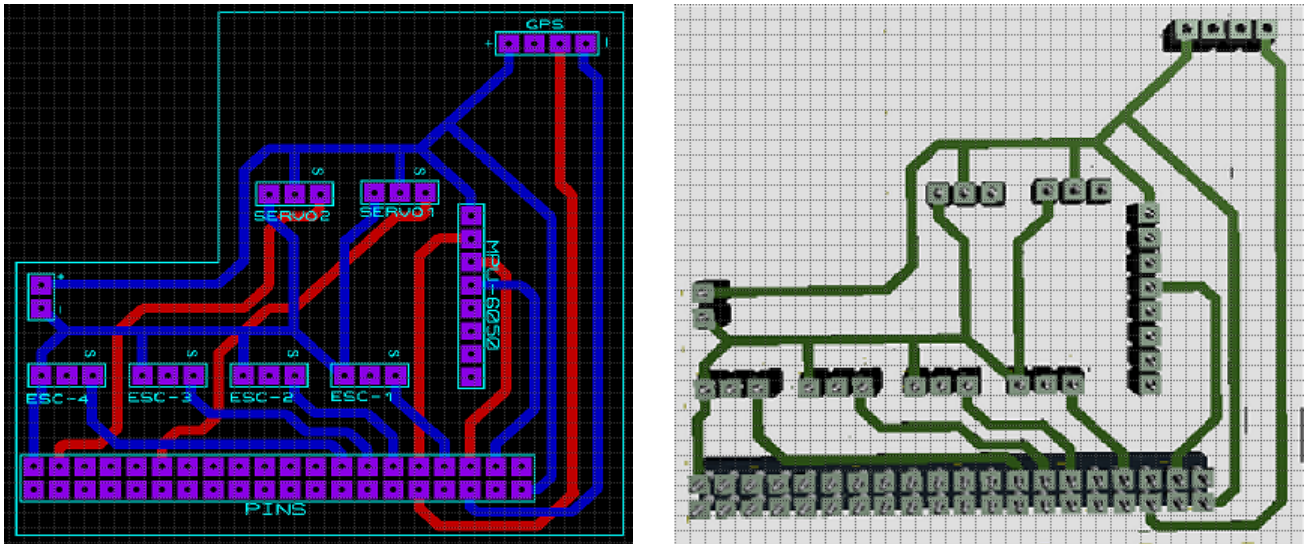


Figure 3.13 : Le PCB de la carte d'acquisition

3.3.1.8 Support caméra

Le support caméra à réaliser est un ensemble de plusieurs modèles 3D imprimés et assemblés par des vis. Il est réalisé par logiciel Blender 2.9, son rôle est de tenir la Pi caméra et les servomoteurs afin de créer un mécanisme qui contribue à la stabilité de la Pi caméra à chaque mouvement de quadrirotor dans l'espace, de sorte que ce mécanisme soit contrôlé à l'aide de servomoteurs SG90 et le capteur MPU6050. Ce support va être embarqué avec le Raspberry Pi, la carte d'acquisition et les capteurs au-dessus du quadrirotor.

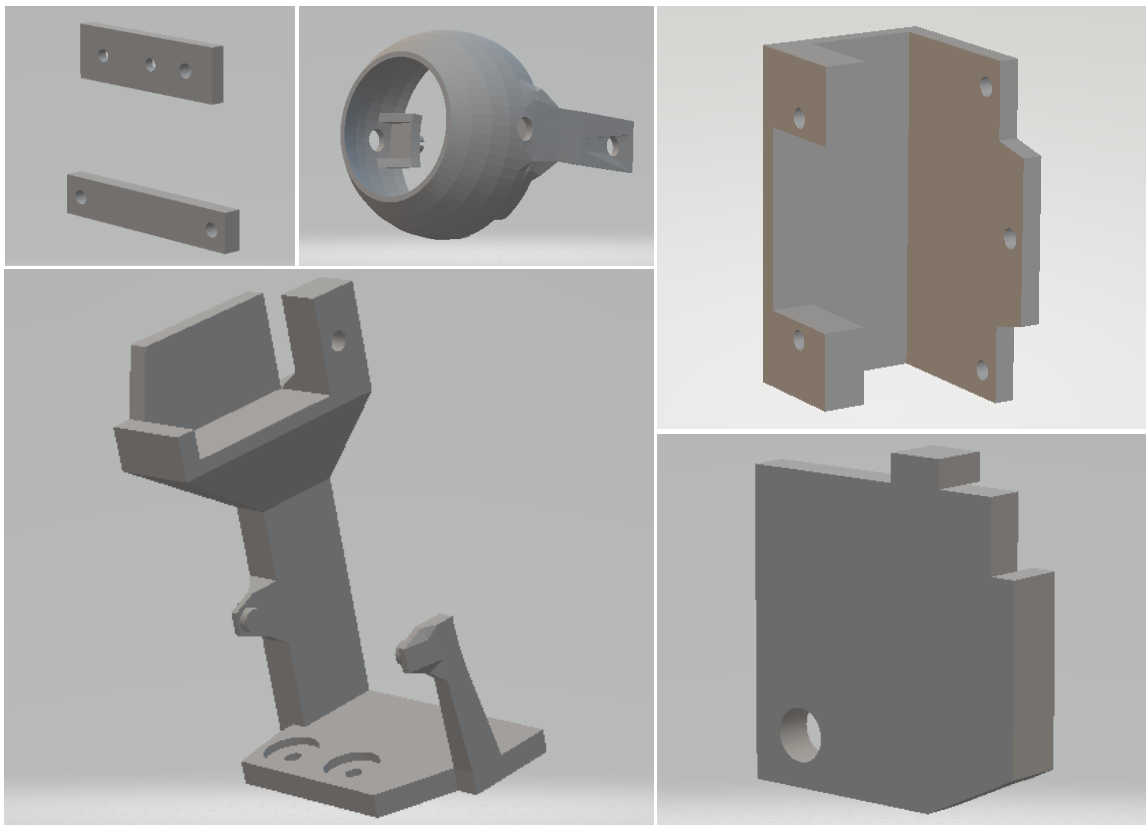


Figure 3.14 : Vue des Modèles de support en 3D

3.3.2 Partie Logicielle

3.3.2.1 Le Raspbian (Linux OS)

Raspbian est un système compatible UNIX appelé GNU - acronyme récursif qui signifie en anglais « GNU's Not UNIX » (littéralement, « GNU n'est pas UNIX »). Il est le système d'exploitation de référence pour Raspberry Pi. Il est basé sur Linux Debian et il est très régulièrement mis à jour, Optimisé spécialement pour Raspberry Pi, c'est une distribution polyvalente qui nous permet de nous familiariser très facilement avec le matériel [36].

Le **Terminal** de Raspbian ce dont nous avons déjà parlé au « chapitre 2 » est basé sur Linux (écrire des commandes), et il nous permettra d'effectuer de nombreuses actions qui seront nécessaires à la réalisation de notre projet.

Ces actions sont :

- La gestion et la configuration des pins GPIO et les différents Entrée/Sortie du Raspberry Pi.
- fixer l'adresse IP de Raspberry Pi pour le contrôle à distance via PC ou smartphone.
- La configuration de matériel externe.
- tester les différents outils et capteurs.
- l'installation des packages Raspberry et Python nécessaire pour la programmation.

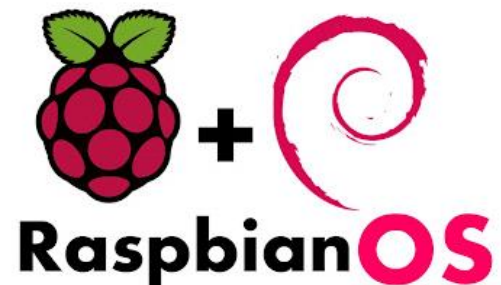


Figure 3.15 : Raspbian OS

3.3.2.2 Thonny (Python 3.7 IDE)

Puisque **Python** est le langage principal utilisé pour la programmation et la gestion du Raspberry Pi, on a choisi la version **Thonny python 3.7 IDE** afin de programmer notre système.

Thonny est un nouvel IDE (environnement de développement intégré) fourni avec la dernière version du système d'exploitation Raspbian avec PIXEL [20].

On a choisi Thonny pour la programmation car :

- Il est livré avec python 3.6 / 3.7 intégré, nous n'avons donc rien besoin d'installer.
- Il dispose d'une gamme de fonctionnalités supplémentaires qui sont parfaites pour l'apprentissage de la programmation [20].
- Met en évidence les erreurs de syntaxe. : Les guillemets et les parenthèses non fermés sont les erreurs de syntaxe des débutants les plus courantes. L'éditeur de Thonny les rend faciles à repérer [20].
- Facile à utiliser par rapport d'autres environnements.

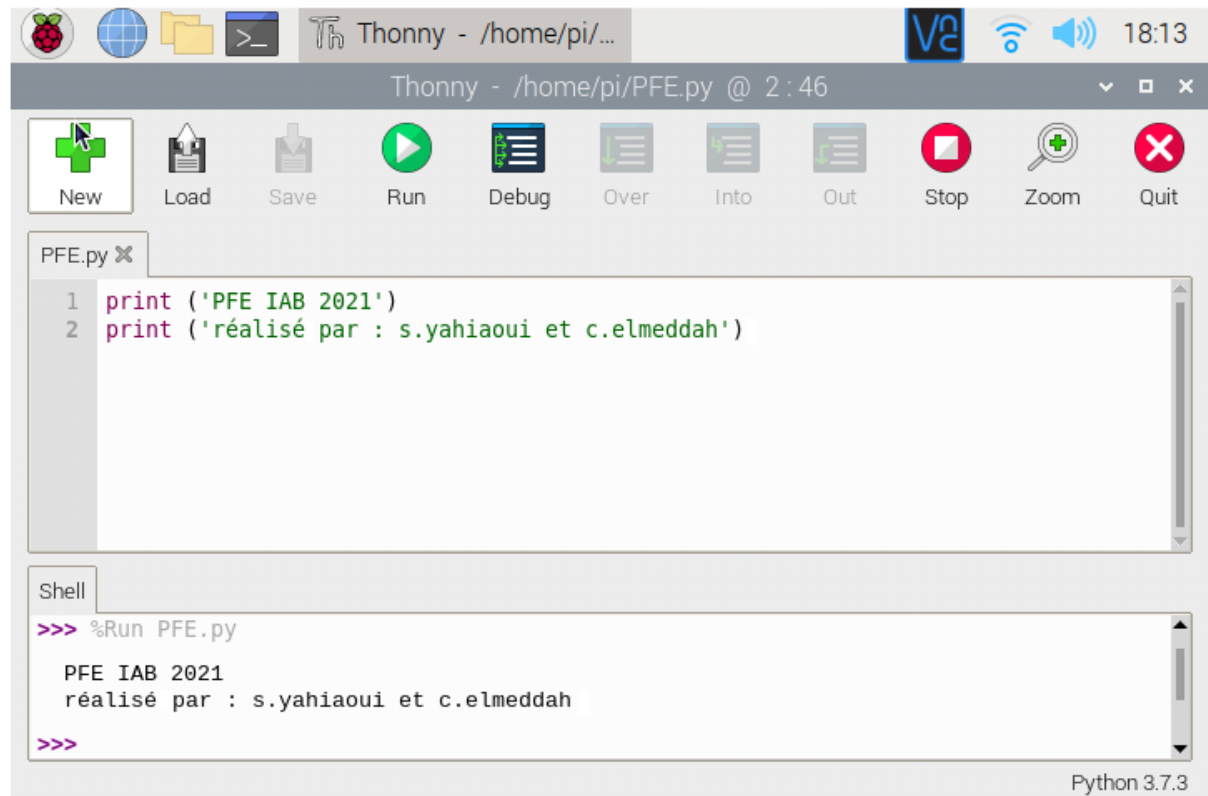


Figure 3.16 : Thonny Python 3.7.3 IDE

3.3.2.3 Proteus pro 8.12

Proteus est un logiciel de modélisation de systèmes virtuels et de simulation de circuits. Ce logiciel est actuellement la seule CAO électronique qui permet la conception d'un système électronique complet et de le simuler, y compris avec le code des microcontrôleurs [21].

Pour ce faire, elle inclut un éditeur de schéma (ISIS), un outil emplacement-routage (ARES), un simulateur analogique-numérique, un environnement de développement intégré pour microcontrôleurs, un module de programmation par algorigrammes ainsi qu'un éditeur d'interface pour smartphone afin de piloter à distance des cartes Arduino ou Raspberry Pi. Un schéma électrique réalisé sur Proteus peut être imprimé facilement afin de réaliser une carte électronique [21].

Proteus est utilisé dans notre projet pour la conception professionnelle de la carte d'acquisition PCB ce dont nous avons déjà parlé au « cahier des charges » et la « partie hard ».

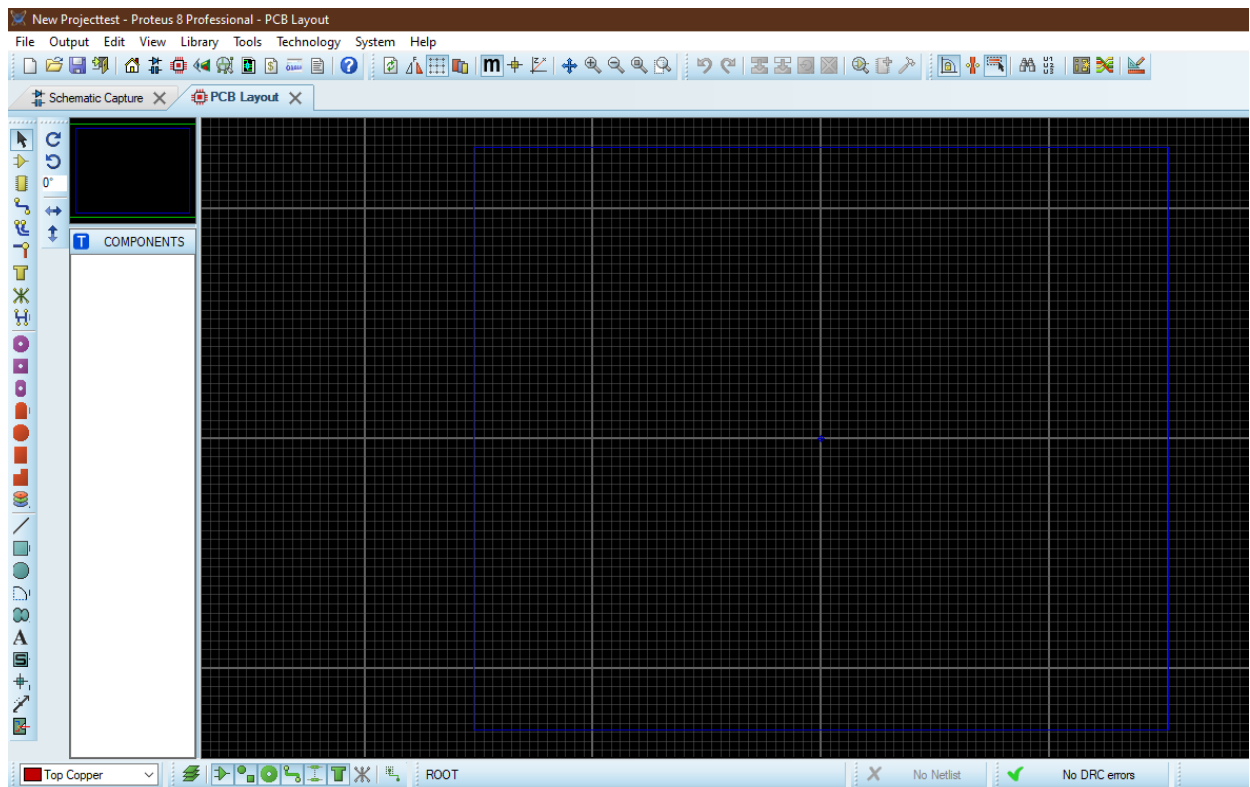


Figure 3.17 : Interface du logiciel Proteus 8.12

3.3.2.4 Blender 2.9

Blender est la suite de création 3D gratuite et open source. Il prend en charge l'intégralité du pipeline 3D : modélisation, gréement, animation, simulation, rendu, composition et suivi de mouvement, même le montage vidéo et la création de jeux. Blender est bien adapté aux particuliers et aux petits studios qui bénéficient de son pipeline unifié et de son processus de développement réactif [22].

Blender est multiplateforme et fonctionne aussi bien sur les ordinateurs Linux, Windows et Macintosh. Son interface utilise OpenGL pour fournir une expérience cohérente. Pour confirmer la compatibilité spécifique, la liste des plateformes prises en charge indique celles régulièrement testées par l'équipe de développement [22].

Blender est utilisé dans notre projet pour la réalisation des deffernts modeles 3D qui forments le support caméra ce dont nous avons déjà parlé au « cahier des charges » et la « partie hard ».

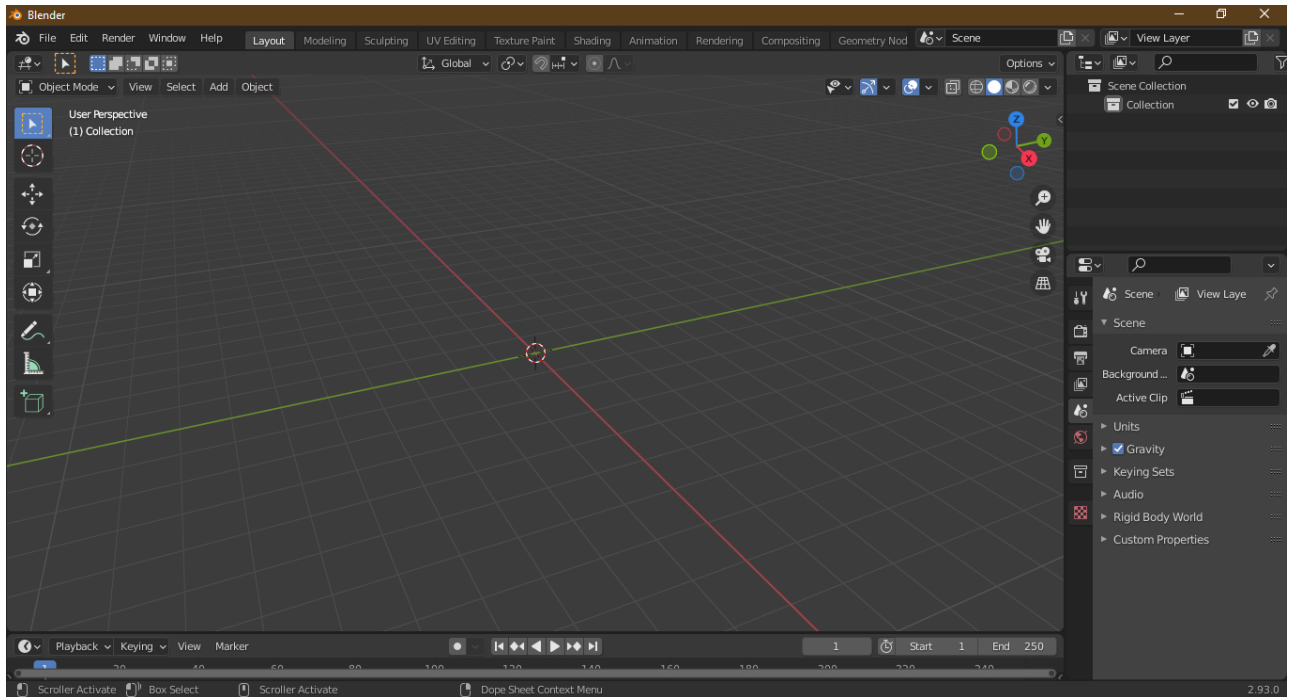


Figure 3.18 : Interface du Blender 2.9

3.3.2.5 VNC Viewer

VNC Viewer est une application dont nous avons parlé plus tôt dans le « chapitre 2 ». Nous allons installer cette application sur le smartphone utilisé dans notre réalisation.

Cette application va nous permettre de :

- Accéder au Raspbian le système d'exploitation du Raspberry Pi.
- Manipuler le Raspberry Pi exactement comme un PC ou d'autres appareils intelligents.
- Contrôler les outils utilisés dans la réalisation et notre système de navigation à distance.
- Recevoir les données des capteurs, l'image de caméra sur l'écran de smartphone.

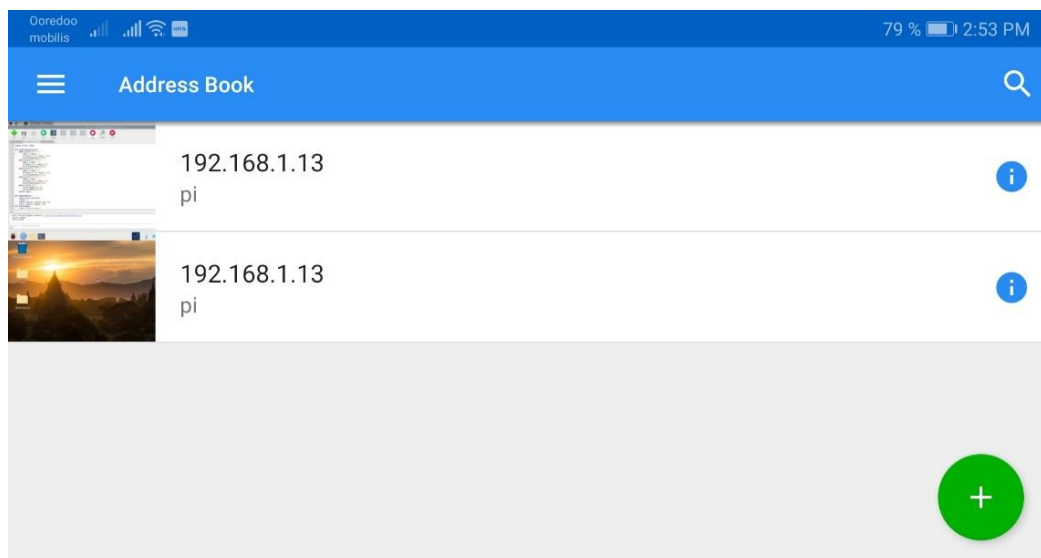


Figure 3.19 : Application VNC Viewer sur smartphone

3.4 Méthodes nécessaires pour la réalisation de système

La réalisation passe par l'explication des différentes méthodes utilisées lors de la programmation de notre système de navigation.

3.4.1 Signal PWM et rapport cyclique

Le signal **PWM** (MLI, Modulation de largeur d'impulsion) est un signal consiste à produire une onde carrée de **fréquence** constante et de **rapport cyclique** (Duty cycle) variable. Il est mis en œuvre dans des fonctions telles que la synthèse vocale ou associée à un filtre passe bas permet la synthèse de signaux audio, la commande en vitesse d'un moteur à courant continu, la commande en position d'un servomoteur, la génération de signaux aléatoires ou périodiques [23].

Le **rapport cyclique** est mesuré en pourcentage (%). Le pourcentage de rapport cyclique décrit spécifiquement le temps pendant lequel un signal numérique est activé sur un intervalle ou une période de temps. Cette période est l'inverse de la fréquence de la forme d'onde [24].

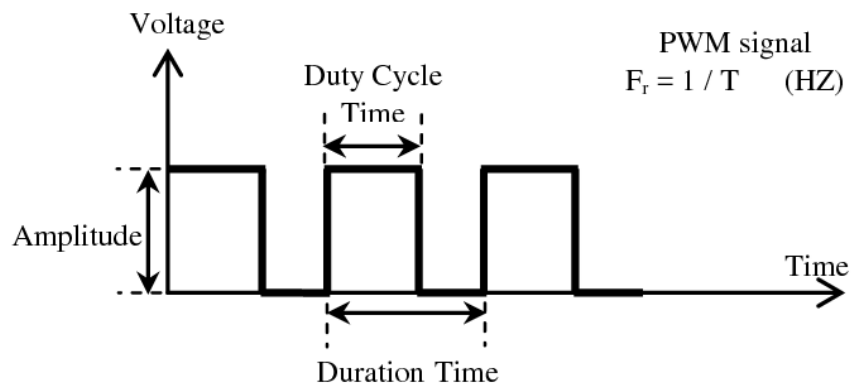


Figure 3.20 : Signal PWM et son rapport cyclique

Si un signal numérique passe la moitié du temps allumé et l'autre moitié éteint, nous dirions que le signal numérique a un rapport cyclique de 50 % et ressemble à une onde carrée idéale. Si le pourcentage est supérieur à 50 %, le signal numérique passe plus de temps à l'état haut qu'à l'état bas et vice-versa si le rapport cyclique est inférieur à 50 %. Voici un graphique qui illustre ces trois scénarios [24] :

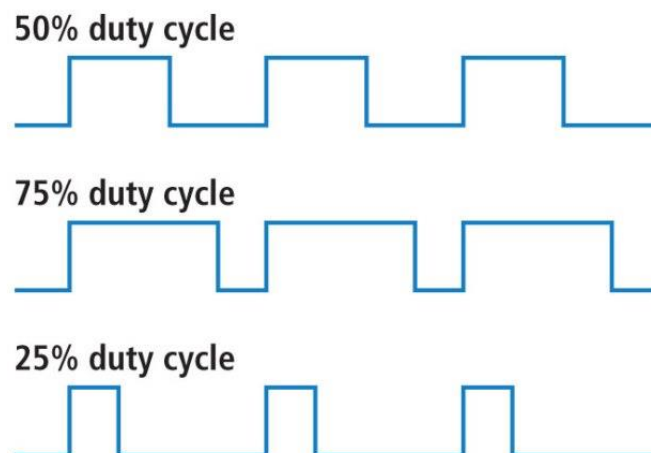


Figure 3.21 : Exemples de rapport cyclique à 50 %, 75 % et 25 %

Chapitre 3 : Équipements et logiciels, Méthodes de programmation

Notre système de navigation contient plusieurs moteurs (4 moteur brushless et 2 servomoteurs) qui nécessitent un signal du type **PWM** pour tourner, ce signal va être distribué par le Raspberry Pi. La variation de **rapport cyclique** du signal PWM nous permettra de varier la vitesse des moteurs brushless et la position des servomoteurs.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le cahier des charges de notre système de navigation d'un quadricoptère, et les différents outils hard et soft utilisés pour la réalisation, ainsi que les méthodes nécessaires pour la programmation du système.

Les outils hard utilisés dans la réalisation sont : Raspberry Pi 3B, MPU6050, GPS, Pi caméra, les servomoteurs, moteurs brushless, ESCs, Batterie, hélices, PCB, support caméra, Dispositif de contrôle (joystick) avec Bluetooth, smartphone.

Les outils soft utilisés dans la réalisation sont : Raspbian(Linux), Thonny(Python), Proteus, Blender, l'application VNC Viewer.

On utilise les logiciels Proteus et Blender pour réaliser un PCB et un support caméra respectivement. Raspbian et Thonny pour la configuration et la programmation des moteurs brushless, servomoteurs, ESCs, MPU6060, GPS, Pi caméra, le joystick. L'application VNC Viewer pour contrôler le Raspberry Pi par un Smartphone.

La modulation de largeur d'impulsion PWM et le correcteur PID jouent un rôle important dans la programmation du système.

CHAPITRE 4 : RÉALISATION ET TESTS

4.1 INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à la présentation de l'environnement matériels et logiciels nécessaires au développement des routines de communication entre drivers et le Raspberry Pi pour gérer les signaux issus du monde physique essentiels à la programmation du drone qui pourra être contrôlé et commandé via les différents instruments de mesure embarqué.

Afin d'honorer la définition du cahier des charges, et parce que l'instrumentation électronique étant au cœur de notre processus pour sa fabrication, des tests individuels ont été fait pour chaque type de capteur pour vérifier la validité de leur bon fonctionnement.

Dans l'objectif de rendre notre produit le plus professionnel possible nous avons customisé différentes architectures de connexions qui devaient respecter les schémas électriques associés aux organigrammes de pilotage à distance conforme à l'orientation de notre programmation des instructions de navigation.

4.2 Test statique

Cette phase nécessaire, s'articule autour de l'idée d'essais unitaires, permettant de tester chaque module isolé pour confirmer leur bon fonctionnement.

4.2.1 Configuration de l'IMU (MPU6050)

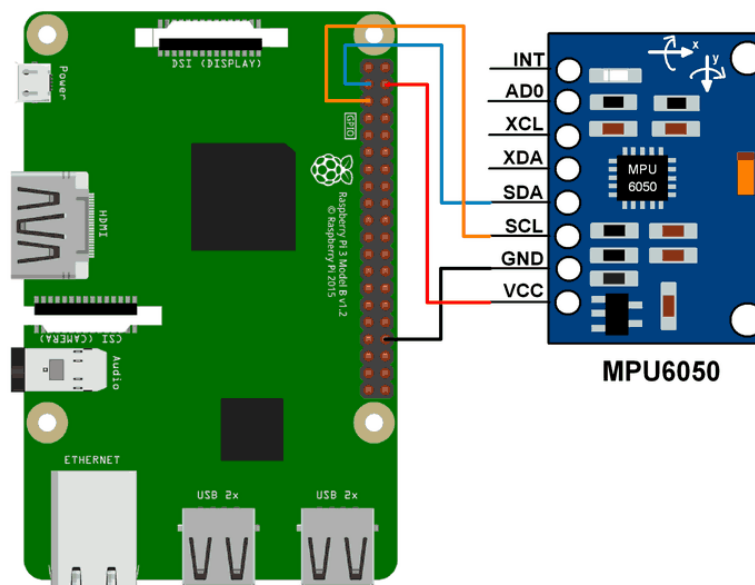


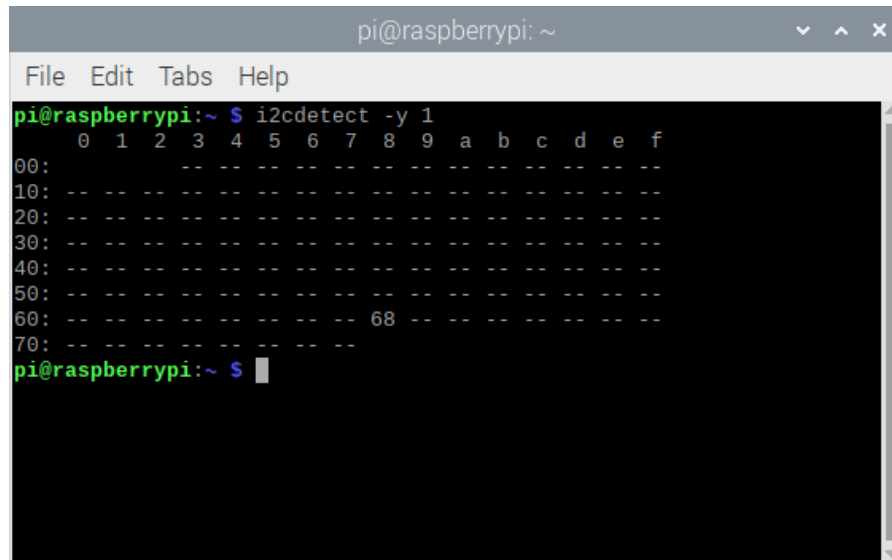
Figure 4.1 : Interfaçage du module MPU6050 au Raspberry Pi

Pour valider le bon fonctionnement du module **MPU6050**, nous avons fait appel au système Debian du Raspberry Pi qui consiste à considérer les étapes suivantes :

- Le montage est réalisé en branchant l'MPU avec les pins GPIO de Raspberry Pi c'est à dire le « VCC », « GND », et les deux bus I2C « SCL », « SDA ». On alimente le Raspberry Pi avec un câble USB/block d'alimentation ou un BEC [25].

Chapitre 4 : Réalisation et tests

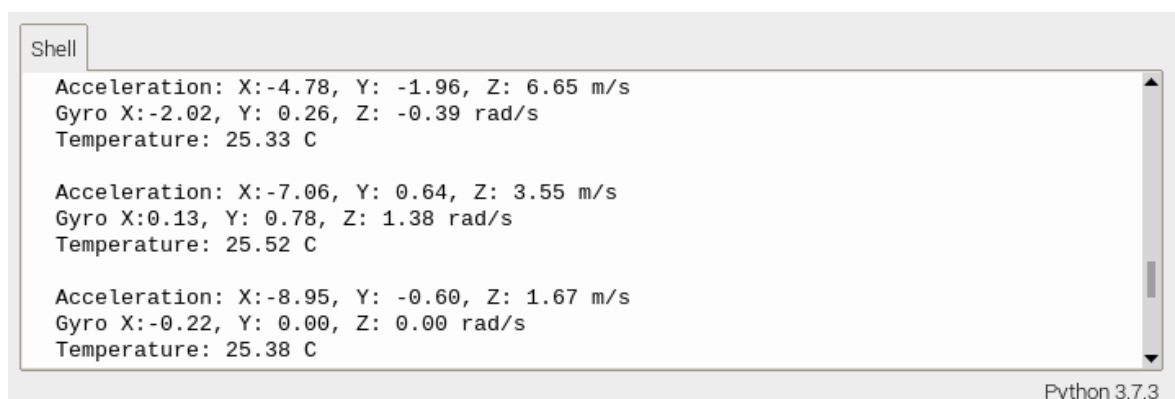
- Lorsque le Raspberry Pi est sous tension, nous devons activer l'interface du bus **I2C** et vérifier ensuite que ce dernier s'active bien sous la commande « **i2cdetect -y 1** » dans le Terminal. Si le nombre 68 s'affiche (**Figure 4.2**), traduisant que le module **MPU6050** est bien alimenté et que le bus **I2C** a été initié avec succès [25].



```
pi@raspberrypi: ~  
File Edit Tabs Help  
pi@raspberrypi:~ $ i2cdetect -y 1  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 a b c d e f  
00: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
10: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
20: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
30: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
40: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
50: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
60: -- -- -- -- -- -- -- 68 -- -- -- -- -- -- -- --  
70: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
pi@raspberrypi:~ $
```

Figure 4.2 : Confirmation de connectivité I2C avec MPU6050

- L'installation de la bibliothèque "**MPU6050**" se fait en utilisant la commande « **sudo pip3 install mpu6050-raspberrypi** » sur le 'terminal' [25] pour qu'à l'aide de "Thonny Python IDE" on puisse écrire un code pour afficher les données de l'accéléromètre, gyromètre ainsi que la température. Lorsque le capteur est mis en mouvement, le changement des données, se immédiatement lisible sur le panel indiquant le bon fonctionnement du capteur.



```
Shell  
Acceleration: X:-4.78, Y: -1.96, Z: 6.65 m/s  
Gyro X:-2.02, Y: 0.26, Z: -0.39 rad/s  
Temperature: 25.33 C  
  
Acceleration: X:-7.06, Y: 0.64, Z: 3.55 m/s  
Gyro X:0.13, Y: 0.78, Z: 1.38 rad/s  
Temperature: 25.52 C  
  
Acceleration: X:-8.95, Y: -0.60, Z: 1.67 m/s  
Gyro X:-0.22, Y: 0.00, Z: 0.00 rad/s  
Temperature: 25.38 C  
Python 3.7.3
```

Figure 4.3 : Affichage des paramètres du module MPU6050

Le but de l'utilisation de la centrale inertielle **MPU6050** dans notre réalisation est de permettre l'accès aux données de l'accéléromètre et du gyromètre afin de fournir la puissance nécessaire aux moteurs pour stabiliser l'ensemble quadrirotor et Pi caméra.

4.2.2 Configuration de GPS (GY-NEO6M)

Pour configurer et tester le fonctionnement correct du GPS avec le Raspberry Pi, il faut procéder de la manière suivante.

- On réalise le montage en connectant le GPS avec les pins GPIO du Raspberry Pi selon la **Figure 4.4** en respectant la polarité « VCC », « GND » et « TX » [26].

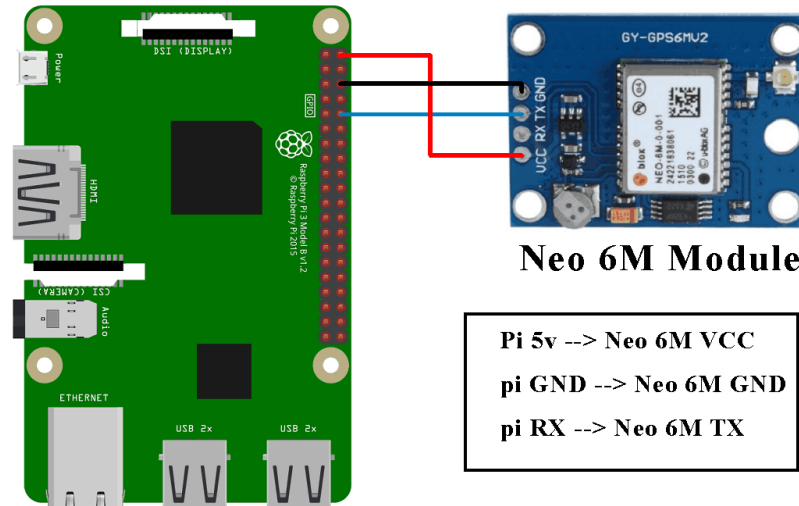


Figure 4.4 : Interfaçage du module GPS NEO 6M au Raspberry Pi

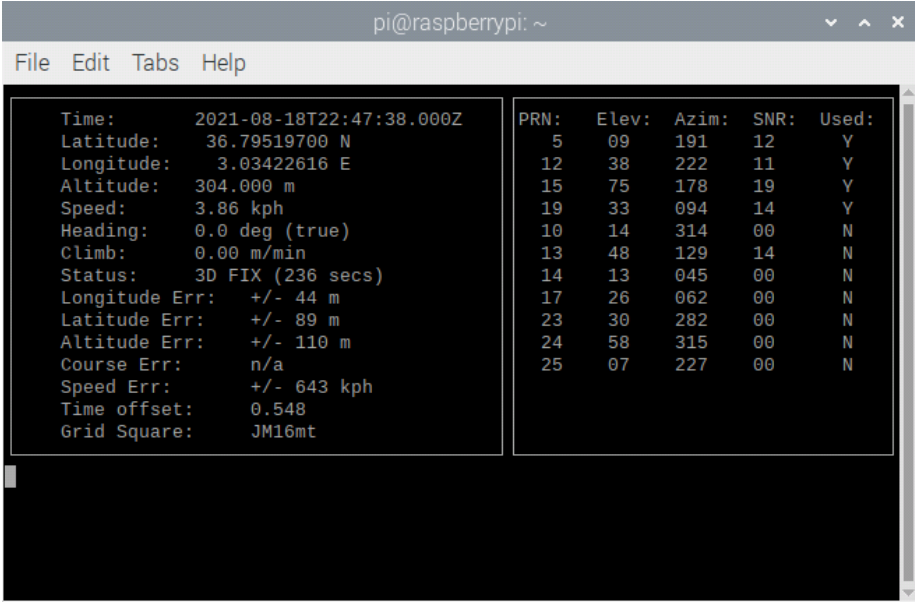
- Il faut activer ensuite l'interface **Serial Port** et redémarrer le Raspberry Pi. Après le redémarrage, si la LED de GPS clignote une fois toutes les 10 secondes cela signifie qu'il a reçu suffisamment de données des satellites pour déterminer l'emplacement. Pour tester si le GPS a été correctement configuré, nous devons entrer les commandes « **stty -F /dev/serial0 raw 9600 cs8 clonal -cstopb** » et « **cat /dev/serial0** » respectivement sur le 'terminal'. Si les données de la **Figure 4.5** s'affichent, cela signifie que notre GPS fonctionne parfaitement [27].

```
pi@raspberrypi: ~  
File Edit Tabs Help  
$GPGLL,3647.71095,N,00302.06923,E,194834.00,A,A*69  
$GPRMC,194835.00,A,3647.71141,N,00302.06888,E,1.012,,290621,,A*75  
$GPVTG,,T,,M,1.012,N,1.873,K,A*2C  
$GPGGA,194835.00,3647.71141,N,00302.06888,E,1,05,1.95,293.6,M,44.2,M,,*51  
$GPGSA,A,3,09,04,07,19,30,,,,,,,,,2.98,1.95,2.26*0B  
$GPGSV,3,1,12,02,36,308,,03,16,104,,04,33,050,12,06,65,270,*77  
$GPGSV,3,2,12,07,55,152,12,09,67,023,24,11,40,308,19,16,02,063,*71  
$GPGSV,3,3,12,17,03,206,,19,13,225,20,20,01,301,,30,25,188,19*7A  
$GPGLL,3647.71141,N,00302.06888,E,194835.00,A,A*60  
$GPRMC,194836.00,A,3647.71179,N,00302.06821,E,1.072,,290621,,A*78  
$GPVTG,,T,,M,1.072,N,1.985,K,A*22
```

Figure 4.5 : Données série GPS

Chapitre 4 : Réalisation et tests

- En utilisant les commandes suivantes l'une après l'autre [27] :
 1. `sudo apt-get install gpsd gpsd-clients python gps`
 2. `sudo systemctl stop gpsd.socket`
 3. `sudo systemctl disable gpsd.socket`
 4. `sudo gpsd /dev/serial0 -F /var/run/gpsd.sock`
 5. `sudo gpsmon /dev/serial0 9600`
 6. `sudo killall gpsd`
 7. `sudo gpsd /dev/ttyAMA0 -F /var/run/gpsd.sock`
- Pour terminer il faut utiliser la commande « `cgps -s` » afin d'afficher les données capture par le GPS NEO 6M comme le montre la **Figure 4.6**.



```
pi@raspberrypi: ~  
File Edit Tabs Help  
Time: 2021-08-18T22:47:38.000Z  
Latitude: 36.79519700 N  
Longitude: 3.03422616 E  
Altitude: 304.000 m  
Speed: 3.86 kph  
Heading: 0.0 deg (true)  
Climb: 0.00 m/min  
Status: 3D FIX (236 secs)  
Longitude Err: +/- 44 m  
Latitude Err: +/- 89 m  
Altitude Err: +/- 110 m  
Course Err: n/a  
Speed Err: +/- 643 kph  
Time offset: 0.548  
Grid Square: JM16mt  
PRN: Elev: Azim: SNR: Used:  
5 09 191 12 Y  
12 38 222 11 Y  
15 75 178 19 Y  
19 33 094 14 Y  
10 14 314 00 N  
13 48 129 14 N  
14 13 045 00 N  
17 26 062 00 N  
23 30 282 00 N  
24 58 315 00 N  
25 07 227 00 N
```

Figure 4.6 : Les différentes données capturées par GPS

Le but de l'utilisation de GPS est de connaître les coordonnées (latitude, longitude, l'altitude) et la vitesse de notre système de navigation, ainsi que le temps réel (date et heure) et plusieurs autres données. Pour vérifier si les coordonnées obtenues sont correctes, on a cherché notre emplacement à ALGER en utilisant 'GOOGLE map'. En comparant les résultats des **Figures 4.6** et **4.7**, on remarque que les mêmes informations qui s'affichent. En conséquence, notre GPS fonctionne correctement.

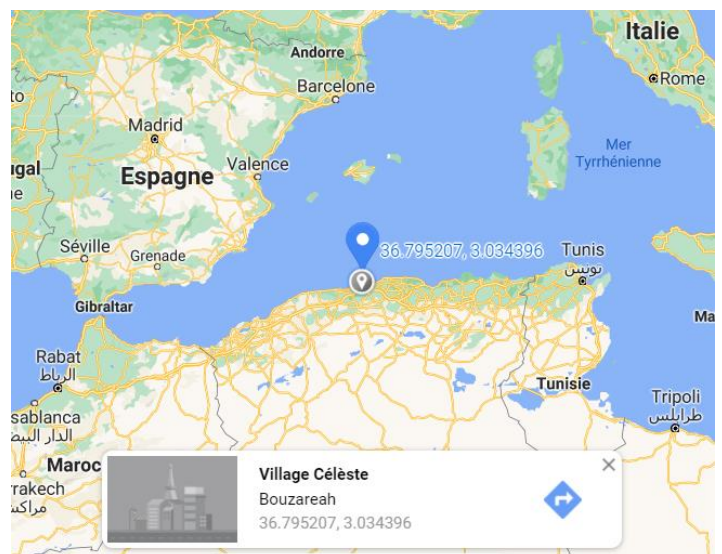


Figure 4.7 : Localisation sur GOOGLE map

4.2.3 Test du Pi Caméra

Pour intégrer et configurer la Pi caméra avec le Raspberry Pi les étapes suivantes doivent être respectées (**Figure 4.8**).

- On commence par insérer la ‘nappe’ de Pi Caméra avec le ‘port du module caméra’ du Raspberry Pi, après il faut allumer le Raspberry Pi [28].
- Lorsque le Raspberry Pi est allumé, nous devons ouvrir « Raspberry Pi Configuration » et activer l'interface **Camera**, après cela, nous devons redémarrer le Raspberry Pi [28].

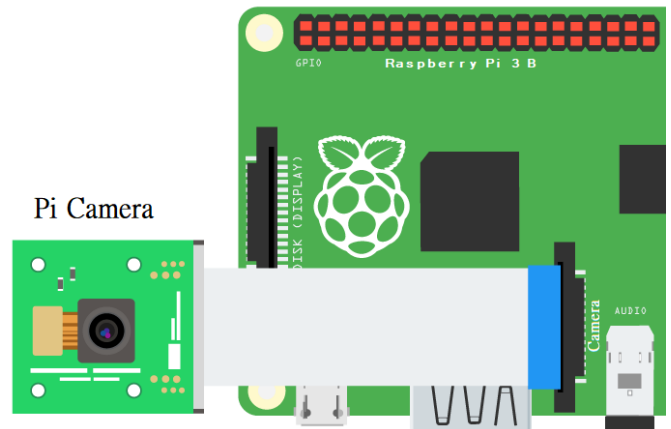


Figure 4.8 : Connexion Raspberry et Pi Caméra

- Pour tester si la caméra fonctionne, nous pouvons utiliser le terminal ou écrire un simple code Python pour capturer une image, vidéo...etc. On a fait plusieurs tests au niveau du centre de recherche CRTI à Bousmail et la **Figure 4.9** reprinted l'un des résultats de nos tests.

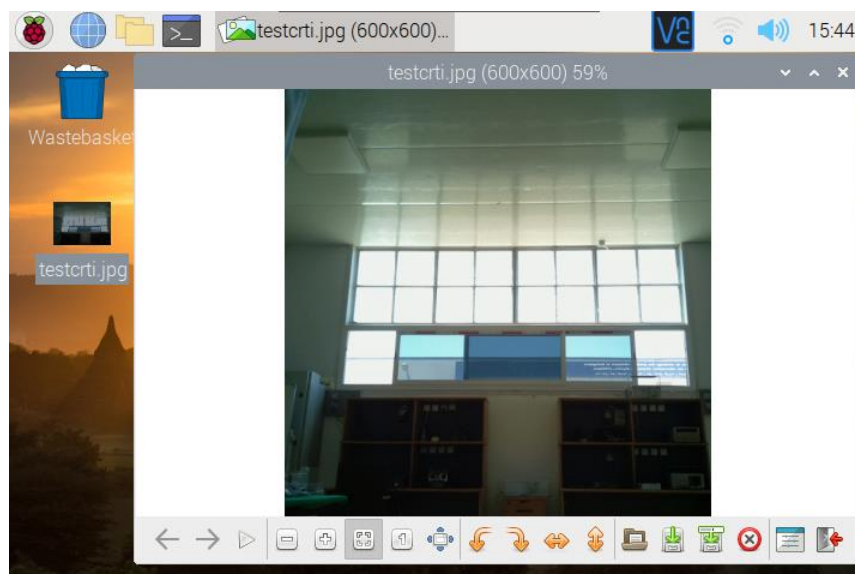


Figure 4.9 : Photo prise par Pi caméra au CRTI Bousmail

Nous avons intégré la caméra afin de prendre des photos et d'enregistrer des vidéos, quel que soit l'emplacement du quadricoptère, en vue d'obtenir un panorama en direct qui nous aide à faire évoluer notre système.

Lorsqu'on lance une commande sur le terminal ou à l'exécution d'un code python pour réaliser une **capture image**, il nous faut introduire l'extension (**.jpeg**, **.jpg**, **.png**) à la fin du nom de l'élément avant le lancement de commande ou l'exécution de notre code. Lorsque nous souhaitons la réalisation d'une **capture vidéo** il nous faut écrire l'extension (**.h264**) à la fin de nom de l'élément.

4.2.4 Configuration des deux Servomoteurs SG90

Nous pouvons connecter et configurer les deux servomoteurs SG90 en suivant ces étapes :

- On réalise le montage en branchant un servomoteur avec les pins GPIO du Raspberry Pi et une batterie comme le montre la **Figure 4.10**. Nous branchons le deuxième servomoteur de la même manière avec le changement du pin de signal (pin de notre choix) [29].

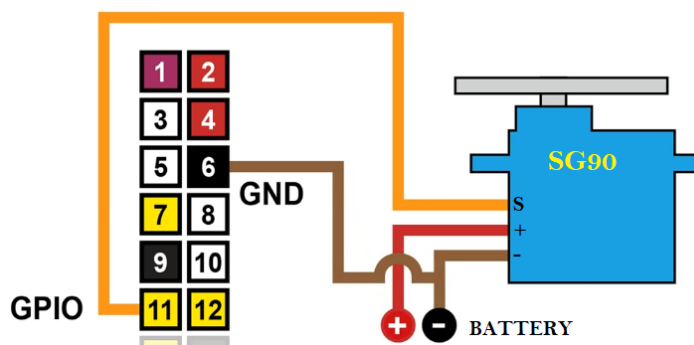


Figure 4.10 : Connexion Raspberry et Servomoteur SG90

- On ouvre Python et on écrit un simple programme où doit-on mentionner le numéro des pins, le type de signal et la fréquence. Puis on définit l'angle de rotation en respectant le rapport cyclique (duty cycle) des deux SG90. Si les servomoteurs se déplacent selon l'angle souhaité lors l'exécution, cela signifie que la programmation fonctionne correctement.

L'utilité de ces deux servomoteurs est de donner une mobilité à deux degrés de liberté sur les plans roulis (roll), tangage (pitch) à notre Pi caméra.

Le servomoteur tourne avec un certain **angle**, défini selon un signal du type **PWM** avec une fréquence **50 Hz**. Souvent les petits servomoteurs sont **limités** et ne peuvent pas faire plus d'un tour. Ils sont donc plutôt utilisés pour un mouvement court de grande précision.

Le rapport cyclique détermine l'angle de rotation, sachant que pour un servomoteur SG90 la valeur minimale de cycle est 2 % et la valeur maximale est 12 % en d'autres termes (2% = 0°, 12% = 180°). Et pour cela, en écrivant le programme nous devons faire une **normalisation des valeurs** pour convertir chaque angle à une valeur, représentant le rapport cyclique.

Les valeurs sont normalisées par la fonction suivante :

$$\text{Duty Cycle (rapport cyclique en \%)} = \frac{\text{Angle}^\circ}{18} + 2$$

Exemples :

$$\text{Angle} = 180^\circ / \text{Duty Cycle} = \frac{180^\circ}{18} + 2 = 12 \%$$

$$\text{Angle} = 0^\circ / \text{Duty Cycle} = \frac{0^\circ}{18} + 2 = 2 \%$$

$$\text{Angle} = 60^\circ / \text{Duty Cycle} = \frac{60^\circ}{18} + 2 = 5.33 \%$$

NB : Si le rapport cyclique distribué est supérieure à 12% cela peut endommager le servomoteur.

4.2.5 Calibration des moteurs et ESC

Pour faire voler et commander un quadrirotor, une calibration des moteurs est impérative, pour cela :

- On doit vérifier le fonctionnement de chaque moteur avec l'ESC et le Raspberry Pi individuellement sans les hélices par mesure de sécurité. Les moteurs brushless ne peuvent pas être directement alimentés en courant continu, nous devons passer par un ESC, qui va recevoir un courant continu directement de la batterie, puis va le transformer en signal adapté au moteur [30].
- Au début nous branchant les sorties de l'ESC avec le moteur brushless, après nous allons connecter l'ESC avec la batterie (+ et -) et les pins GPIO du Raspberry Pi (GND, pin de signal de notre choix), on peut schématiser le branchement à effectuer comme le montre la **Figure 4.11** [30] :

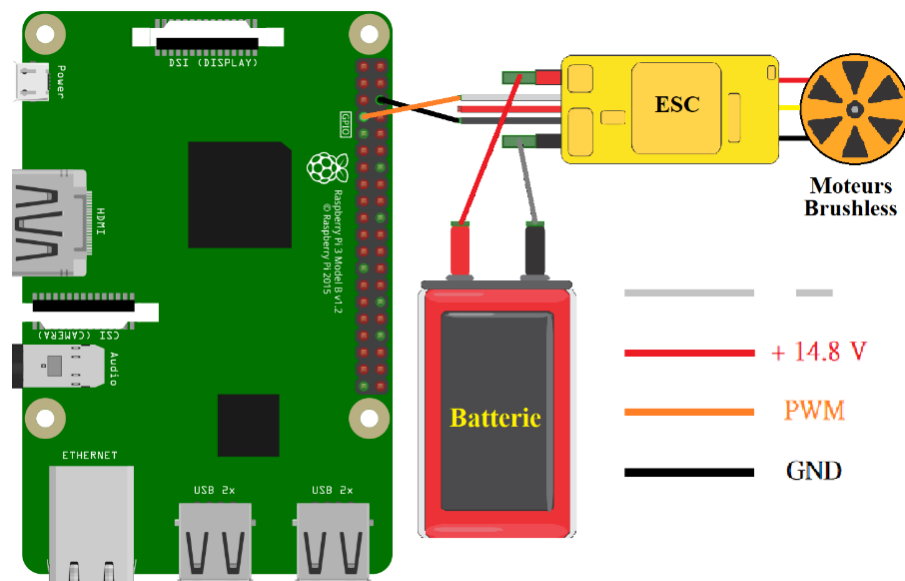


Figure 4.11 : Branchement de l'ESC, Moteur Brushless

- On ouvre Python et on écrit un simple programme où doit-on mentionner le numéro de pins, le type de signal et la fréquence. Puis on définit la vitesse en respectant le rapport cyclique (duty cycle). Si le moteur brushless tourne, cela signifie que la programmation fonctionne correctement.
- Puisque nous travaillons sur un quadrirotor, nous faisons le même processus avec **3** autres moteurs, puis nous écrivons un programme commun pour faire tourner les quatre moteurs ensemble.

Le Moteur brushless tourne avec une certaine **vitesse** contrôlé par l'ESC, et définie selon un signal du type **PWM** avec une certaine **fréquence** de notre choix (50 Hz), Il tourne tant qu'il est alimenté. Il est adapté quand nous souhait effectuer un mouvement continu ne demandant pas une grande précision.

Le rapport cyclique (duty cycle) détermine la vitesse de moteur brushless. Chaque moteur a son propre rapport cyclique, et cela est dû à la puissance et la capacité de chaque moteur.

NB : Si la valeur de rapport cyclique distribué est supérieure à la puissance et la capacité du moteur brushless cela peut endommager le moteur.

4.2.6 Configuration du joystick GameSir-G4s

Pour intégrer et configurer le joystick avec le Raspberry Pi nous devrions suivre quelques simples étapes.

- Nous connectons le 'Bluetooth' du joystick avec l'un des ports USB du Raspberry Pi.
- Le joystick s'allume en appuyant simultanément sur les boutons « HOME » et « X ».
- Maintenant, nous devons installer le package « pygame » sur notre Raspberry pi en écrivant la commande « `sudo pip3 install pygame` » sur le Terminal [31].
- On ouvre Python et nous écrivons un programme pour contrôler les boutons et les poignées du joystick GameSir-G4s selon la façon qui nous arrange.

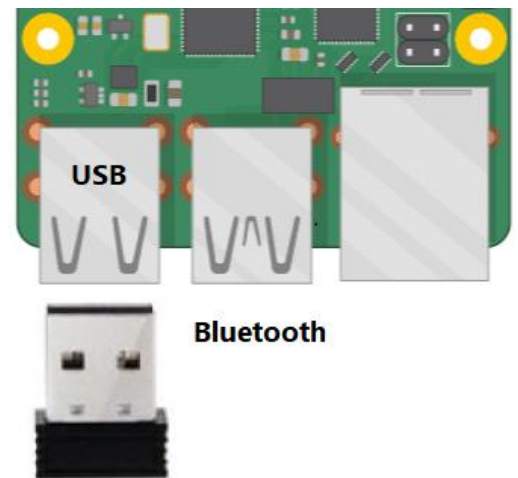


Figure 4.12 : connexion Bluetooth du G4s

PYGAME est une combinaison de Python avec la SDL (Simple Directmedia Library), une bibliothèque libre multi-plateformes permettant la gestion du multimédia dans la programmation [32].

- L'affichage vidéo 2D.
- La gestion de l'audio.
- La gestion de périphériques de commandes (joystick, clavier, souris...).

Pour la programmation, nous avons créé une liste pour nommer les boutons et les axes dans lesquels se déplacent les poignées du joystick (4 axes), et à l'aide de package 'pygame' nous avons créé les conditions suivants :

- Si les boutons ne sont pas enfoncés, leur valeur sera zéro « 0 ».
- Si nous appuyons sur les boutons, la valeur de ces boutons sera égale à un « 1 ».
- Si l'on déplace la poignée n°1 et la poignée n°2 sur les axes 1,2 et 3,4 respectivement, les valeurs de ces axes qui sont confinés entre -1 et 1 vont changer en fonction des mouvements des deux poignées.

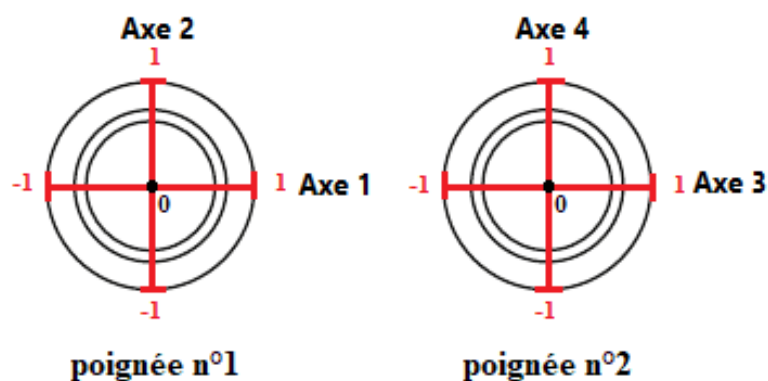
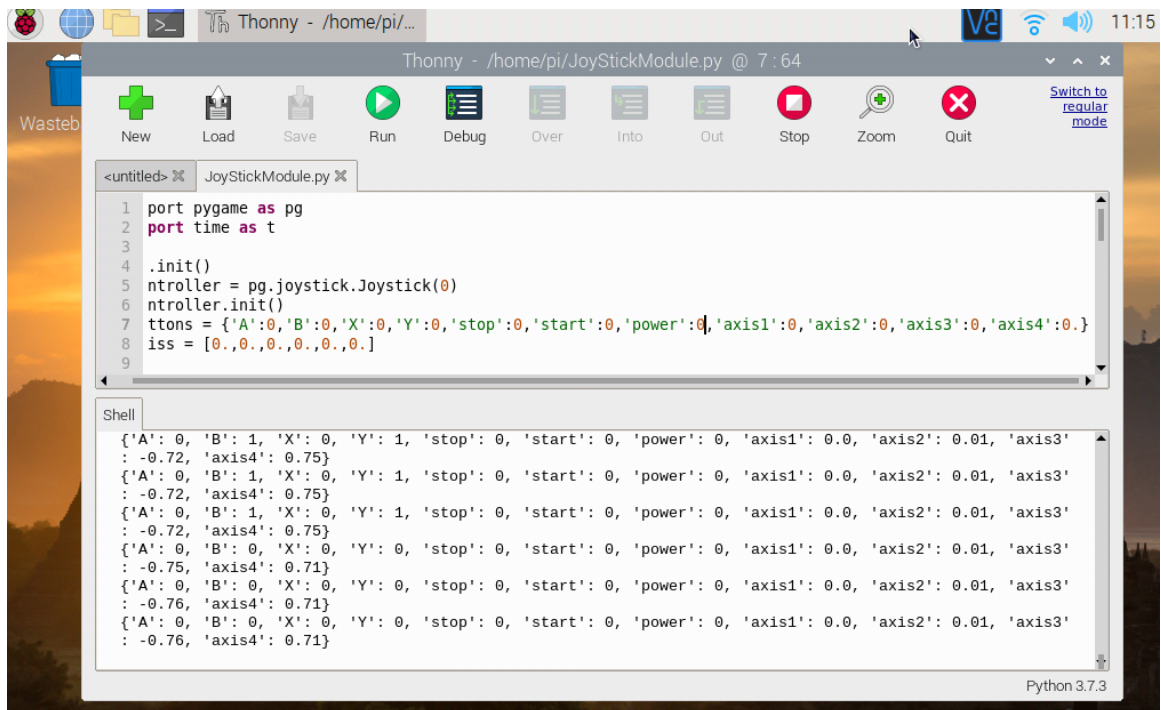


Figure 4.13 : Les axes des deux poignées

Chapitre 4 : Réalisation et tests

- Enfin pour tester si la configuration est correcte, nous allons exécuter le code et commencer à appuyer sur les boutons et fait bouger les poignées selon les conditions que nous avons imposées. le changement des données, se fait immédiatement ce qui indique le bon fonctionnement du joystick GameSir G4s.



```
Thonny - /home/pi/...
Thonny - /home/pi/JoyStickModule.py @ 7 : 64
New Load Save Run Debug Over Into Out Stop Zoom Quit Switch to regular mode
JoyStickModule.py
1 port pygame as pg
2 port time as t
3
4 .init()
5 ntroller = pg.joystick.Joystick(0)
6 ntroller.init()
7 ttons = {'A':0,'B':0,'X':0,'Y':0,'stop':0,'start':0,'power':0,'axis1':0,'axis2':0,'axis3':0,'axis4':0}
8 iss = [0.,0.,0.,0.,0.,0.]
9
Shell
{'A': 0, 'B': 1, 'X': 0, 'Y': 1, 'stop': 0, 'start': 0, 'power': 0, 'axis1': 0.0, 'axis2': 0.01, 'axis3': -0.72, 'axis4': 0.75}
{'A': 0, 'B': 1, 'X': 0, 'Y': 1, 'stop': 0, 'start': 0, 'power': 0, 'axis1': 0.0, 'axis2': 0.01, 'axis3': -0.72, 'axis4': 0.75}
{'A': 0, 'B': 1, 'X': 0, 'Y': 1, 'stop': 0, 'start': 0, 'power': 0, 'axis1': 0.0, 'axis2': 0.01, 'axis3': -0.72, 'axis4': 0.75}
{'A': 0, 'B': 0, 'X': 0, 'Y': 0, 'stop': 0, 'start': 0, 'power': 0, 'axis1': 0.0, 'axis2': 0.01, 'axis3': -0.75, 'axis4': 0.71}
{'A': 0, 'B': 0, 'X': 0, 'Y': 0, 'stop': 0, 'start': 0, 'power': 0, 'axis1': 0.0, 'axis2': 0.01, 'axis3': -0.76, 'axis4': 0.71}
{'A': 0, 'B': 0, 'X': 0, 'Y': 0, 'stop': 0, 'start': 0, 'power': 0, 'axis1': 0.0, 'axis2': 0.01, 'axis3': -0.76, 'axis4': 0.71}
Python 3.7.3
```

Figure 4.14 : Teste du Joystick

Le but de l'intégration du joystick est de contrôler les quatre moteurs brushless, Pi caméra et afficher les données des capteurs ainsi que tenir un **smartphone** avec son support.

Nous avons utilisé un 'Smartphone' connecté aux mêmes réseaux que le Raspberry Pi pour pouvoir accéder au système d'exploitation de ce dernier en utilisant l'application 'VNC Viewer', ce qui nous permettra de contrôler le système à distance et de recevoir les scènes captées par la Pi caméra.

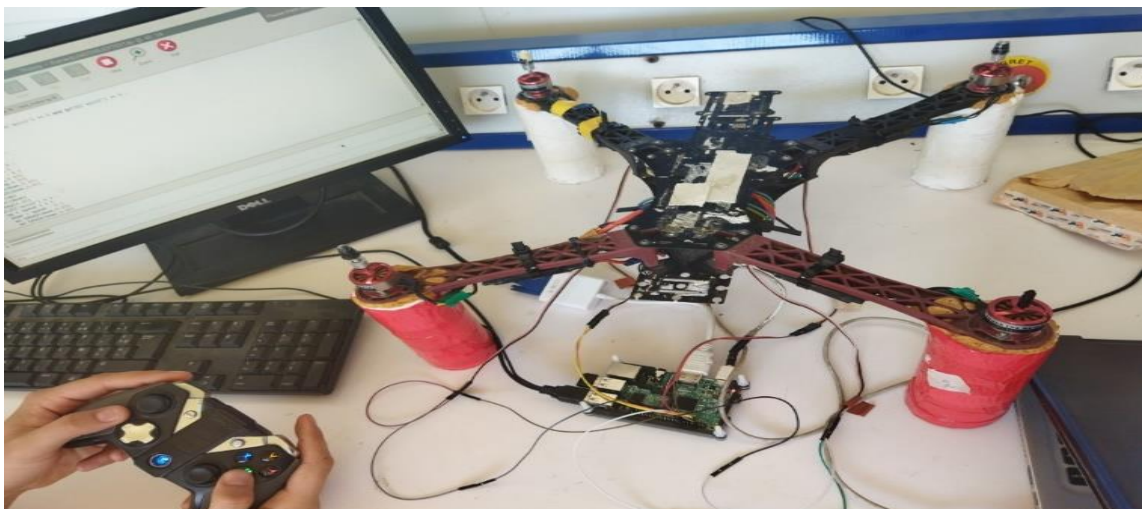


Figure 4.15 : Contrôle à distance du Pi caméra et des moteurs via joystick + smartphone

4.3 Réalisation de la carte d'acquisition (PCB)

Avant de réaliser la carte de notre système, on a besoin d'une carte d'acquisition (PCB) qui doit être fixée au-dessus des pins GPIO de Raspberry Pi. Cette carte d'acquisition nous permettra d'éliminer tous les fils électriques et d'assurer une bonne connexion entre tous les outils et le Raspberry Pi.

Pour réaliser la carte, nous commencerons par dimensionner cette carte pour qu'elle corresponde aux dimensions du Raspberry Pi et aussi déterminer la façon dont la carte communique avec les pins GPIO, en plus de préciser les pins de connexion avec les outils utilisés dans la réalisation (BEC, MPU6050, GPS, deux servomoteurs, quatre moteurs brushless). Ensuite, nous prenons toutes les informations que nous avons afin de créer un circuit (schéma électrique) à l'aide du logiciel **Proteus**.

4.3.1 Schéma de la carte d'acquisition sur Proteus ARES

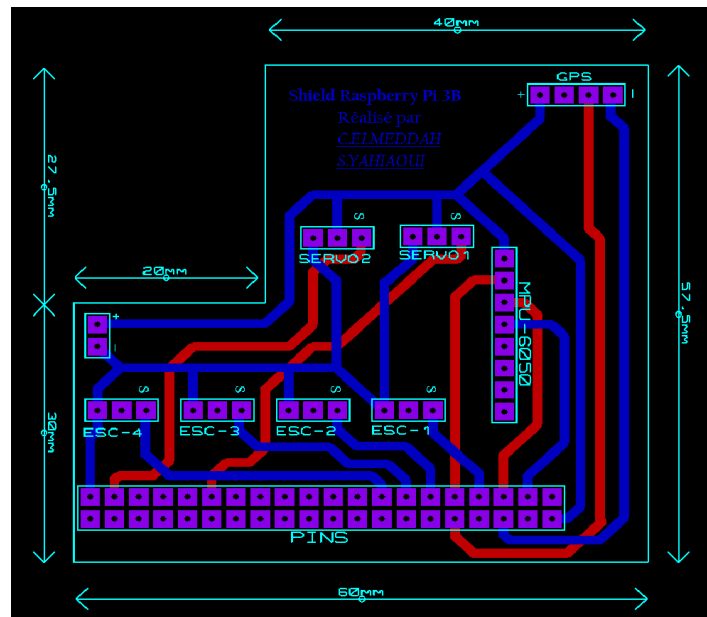


Figure 4.16 : Circuit de la carte d'acquisition sur Proteus

4.3.2 Circuit Imprimé

Après avoir terminé les étapes précédentes, nous imprimons le circuit pour obtenir notre carte PCB.

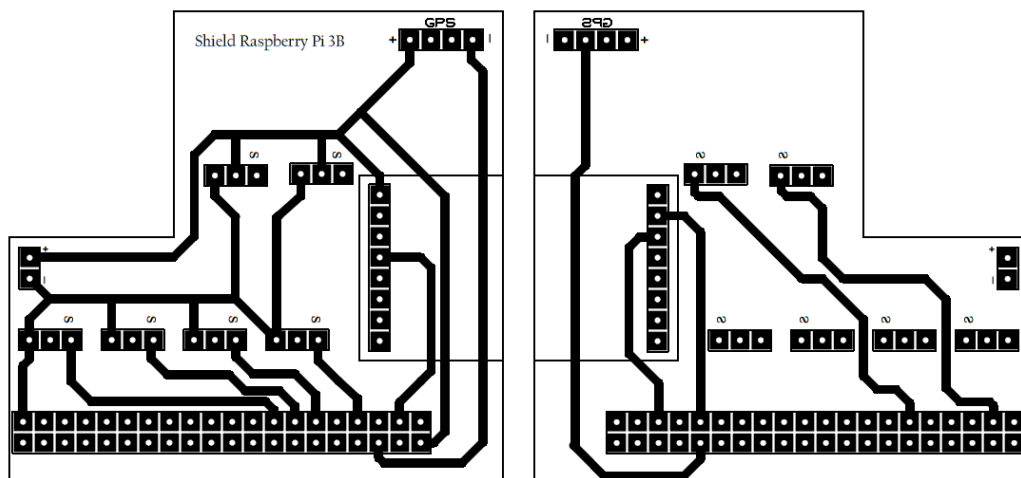


Figure 4.17 : Les deux faces de circuit sur du papier calques

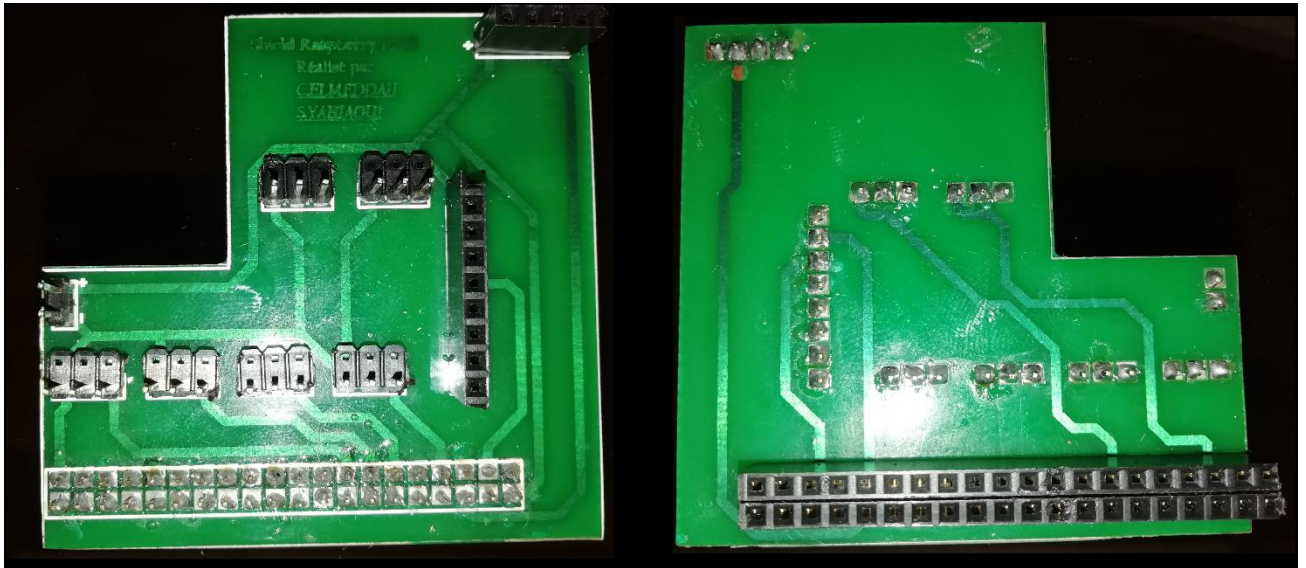


Figure 4.18 : Circuit Imprimé de la carte d'acquisition

4.3.3 Montage de la carte d'acquisition

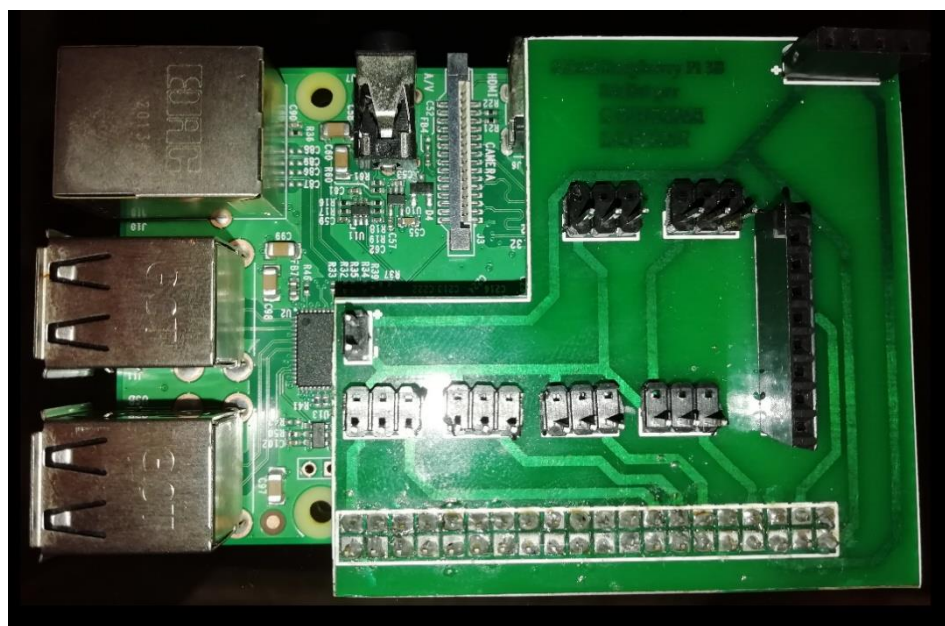


Figure 4.19 : Montage de PCB avec Raspberry Pi 3B

4.4 Réalisation d'un support caméra

Nous avons créé un modèle qui joue le rôle d'un support de la Pi caméra et deux servomoteurs SG90, ce support va être fixé au-dessous de quadrirotor et dans le but d'obtenir une mobilité à deux degrés de liberté contrôlé par le central inertiel MPU6050 pour stabiliser notre caméra à chaque mouvement dans l'espace.

Pour réaliser le support, nous commencerons par dimensionner les différentes parties de ce support pour qu'ils correspondent aux dimensions du Pi caméra et les deux servomoteurs, Ensuite, nous prenons toutes les informations que nous avons afin de créer un modèle 3D à l'aide du logiciel **Blender**.

4.4.1 Réalisation sur Blender

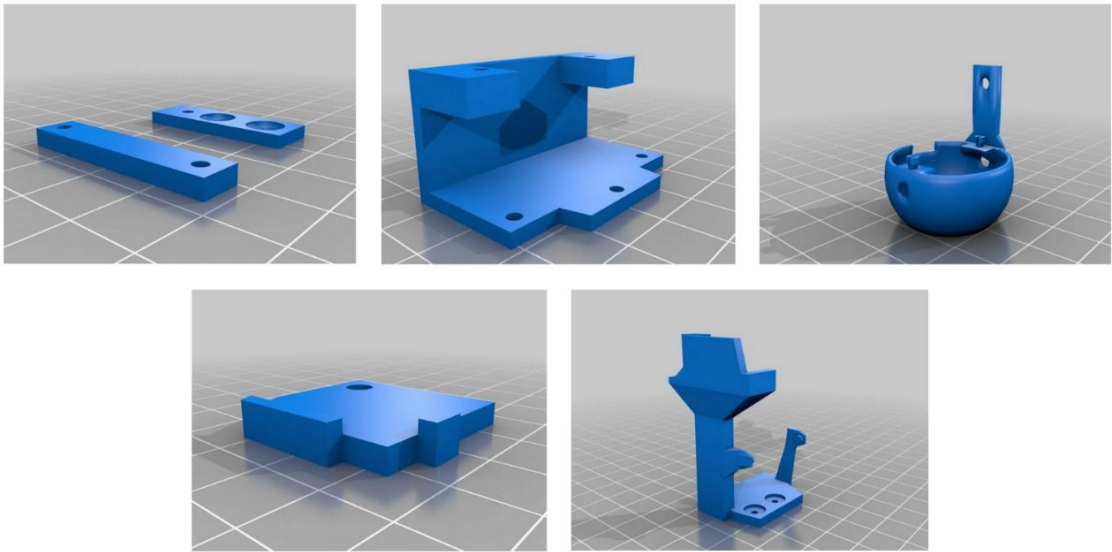


Figure 4.20 : Vue des différentes parties de support sur Blender

4.4.2 Modèles imprimés

Après avoir terminé toutes les étapes précédentes, nous imprimons les différentes parties de ce support en utilisant une imprimante 3D.

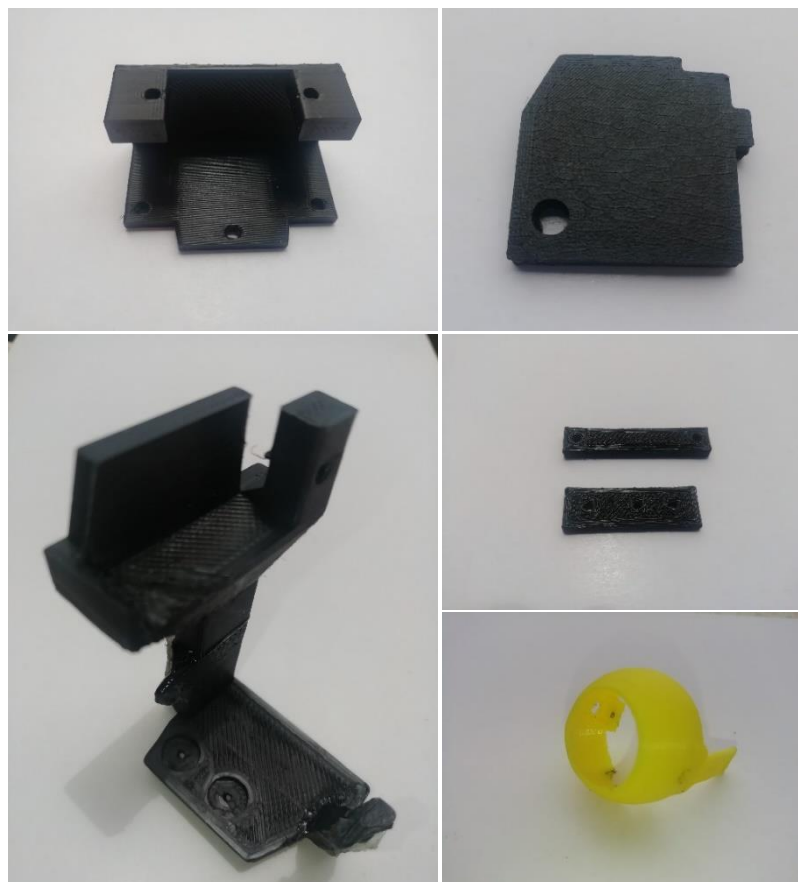


Figure 4.21 : Vue des modèles imprimés de support

4.4.3 Assemblage des modèles imprimés

Il est maintenant temps d'assembler les pièces imprimées ainsi que la Pi caméra et les deux servomoteurs SG90, Mais avant cela, nous avons apporté quelques ajustements manuels à certains des modèles imprimés pour obtenir le look final de notre support caméra.

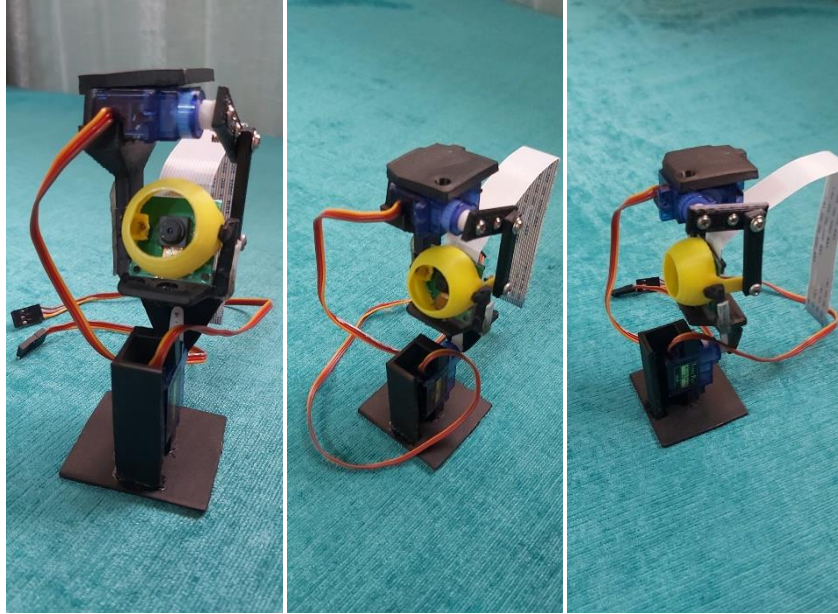


Figure 4.22 : Vue de montage final du support caméra

4.5 Schéma électrique

Après avoir testé tous les équipements séparément, leurs intégrations dans l'environnement de l'ensemble avec le Raspberry Pi et donnés dans le schéma électrique suivant.

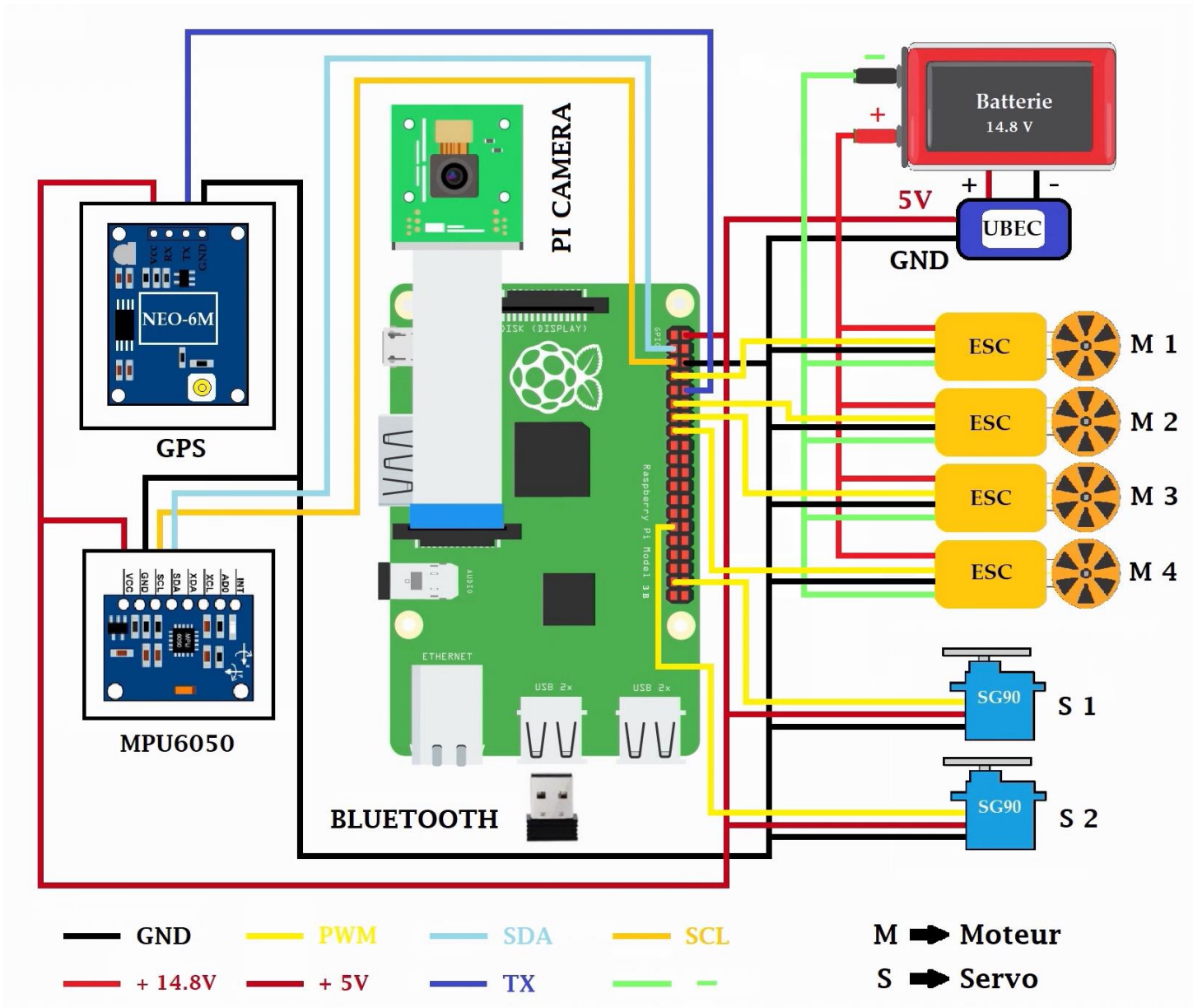


Figure 4.23 : Schéma électrique du système

4.6 Assemblage

Après avoir réalisé le schéma électrique, la carte d'acquisition et le support de la Pi caméra, il est temps de rassembler tout ce qui précède afin d'obtenir le résultat final de notre réalisation.

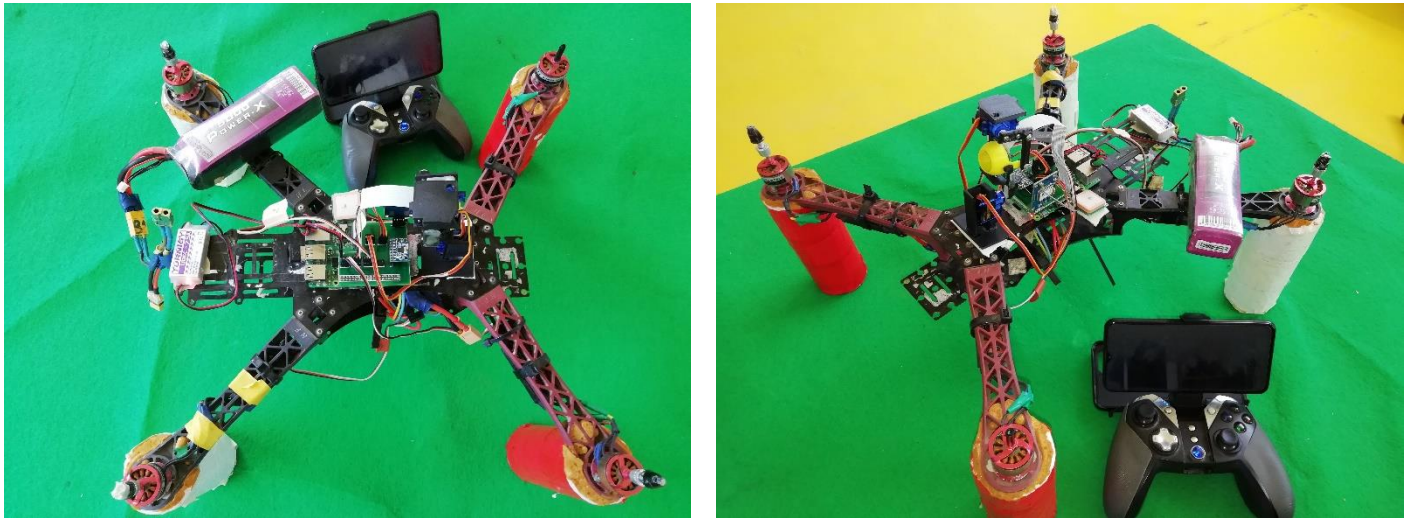


Figure 4.24 : Le résultat final du système de navigation

4.7 L'organigramme

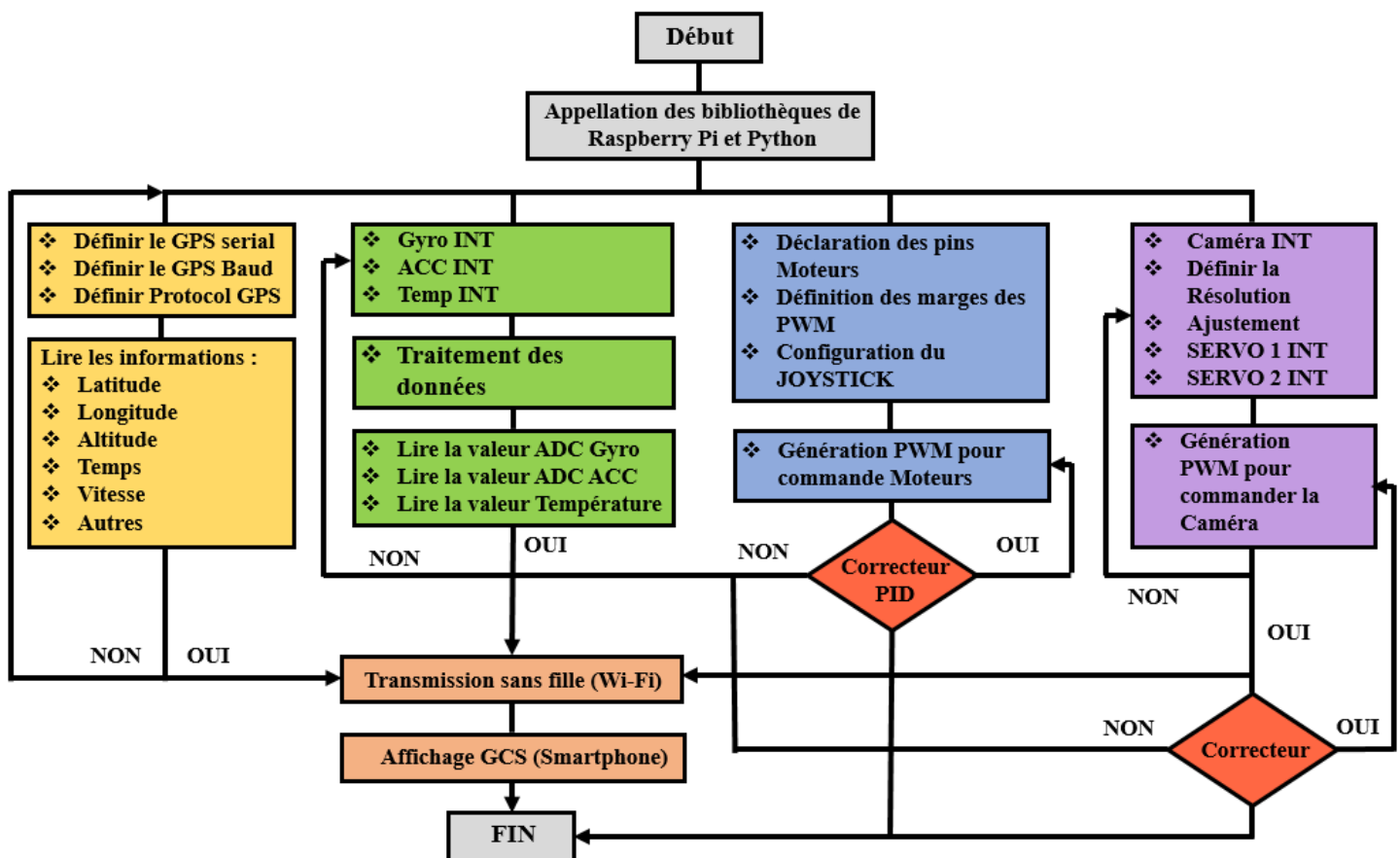


Figure 4.25 : Organigramme du programme

4.8 Test Final

Dans cette partie, on a procédé au test global de système et cela pour commander et contrôler le quadricoptère, visualiser les données issues des capteurs en temps réel, les scènes capturées par la caméra et valider notre réalisation. Les étapes sont structurées de la manière suivante :

- On branche les sorties de BEC intégré dans le système réalisé avec les pins « + » et « - » de la carte PCB qui est connectée directement avec les pins GPIO du Raspberry Pi 3B et les autres équipements pour alimenter notre système de navigation.
- On alimente le joystick G4s et le smartphone attaché à cette dernière via un support et connectée au même réseau que le Raspberry Pi qui représente le cerveau du système, puis on ouvre l'application VNC Viewer installée sur le smartphone pour accéder au Raspberry Pi à l'aide de l'adresse IP que nous avons préalablement fixée.
- Pour démarrer le fonctionnement réel du système, nous allons lancer la commande « `cgps -s` » sur le terminal et exécuter le code python général en même temps.

Après avoir respecté toutes les étapes précédentes, nous allons tester la stabilité de quadricoptère et la caméra, ainsi que contrôler l'ensemble du système réalisé en utilisant le joystick G4s.

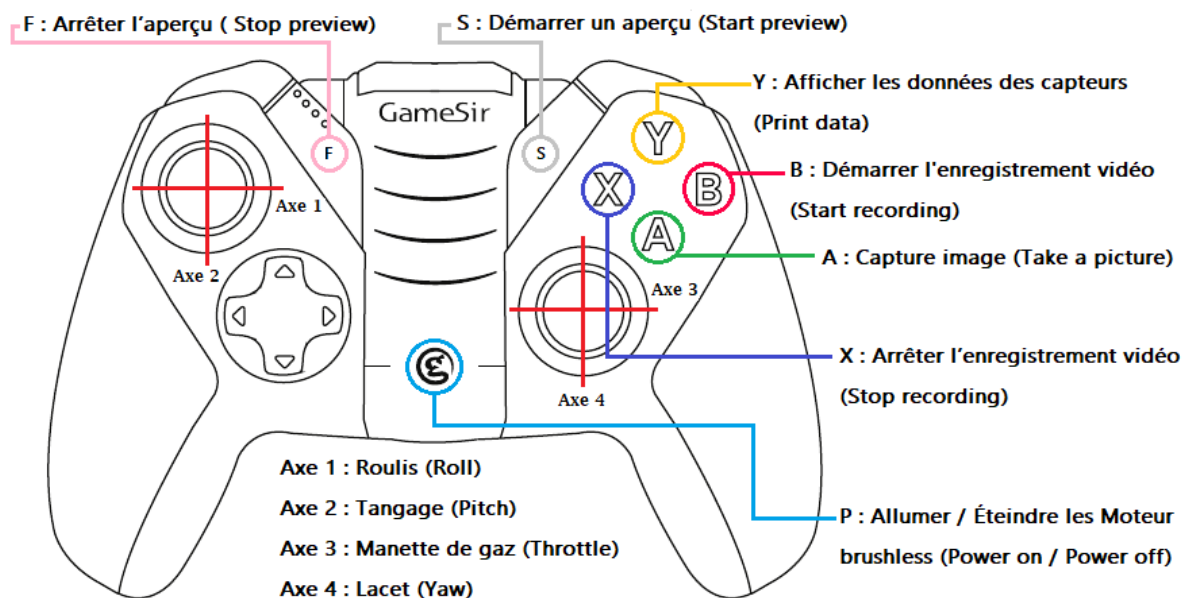


Figure 4.26 : Les fonctions du Joystick G4s

On commence tout d'abord par bouger les poignées du joystick pour contrôler les différents mouvements du quadricoptère (tangage, roulis et lacet) selon les conditions imposées dans la programmation. La poignée droite est dédiée pour les mouvements 'vertical' et de 'lacet', la poignée gauche est dédiée pour les mouvements de 'tangage' et de 'roulis'.

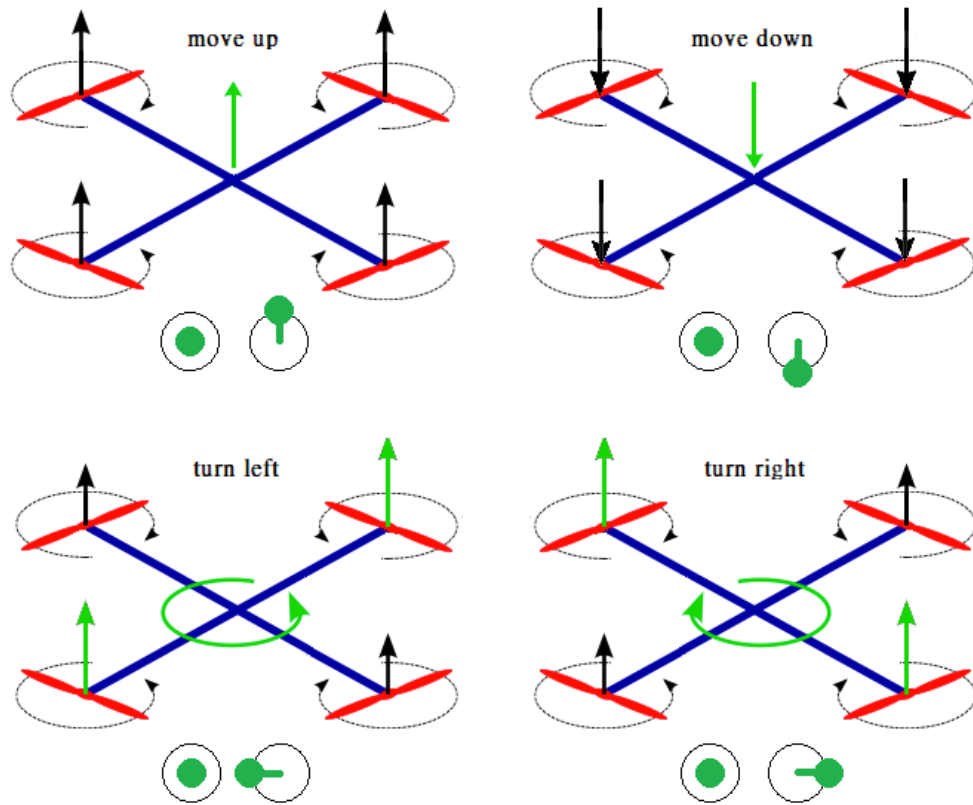


Figure 4.27 : Control vertical et de lacet via la poignée droite

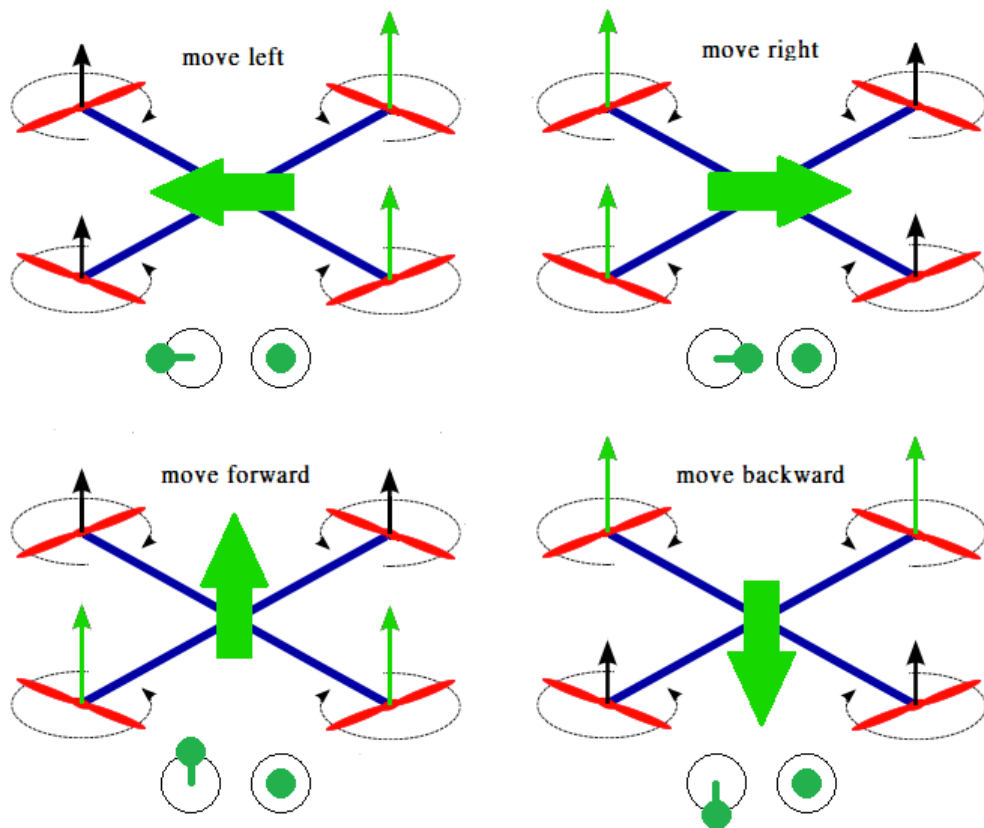


Figure 4.28 : Control de tangage et de roulis via la poignée gauche

Chapitre 4 : Réalisation et tests

Maintenant nous allons utiliser les boutons du joystick pour afficher les données des capteurs et les scènes capturées par la caméra sur le smartphone, ainsi que prendre des photos, enregistrer des vidéos, et contrôler les mouvements du quadricoptère en parallèle.

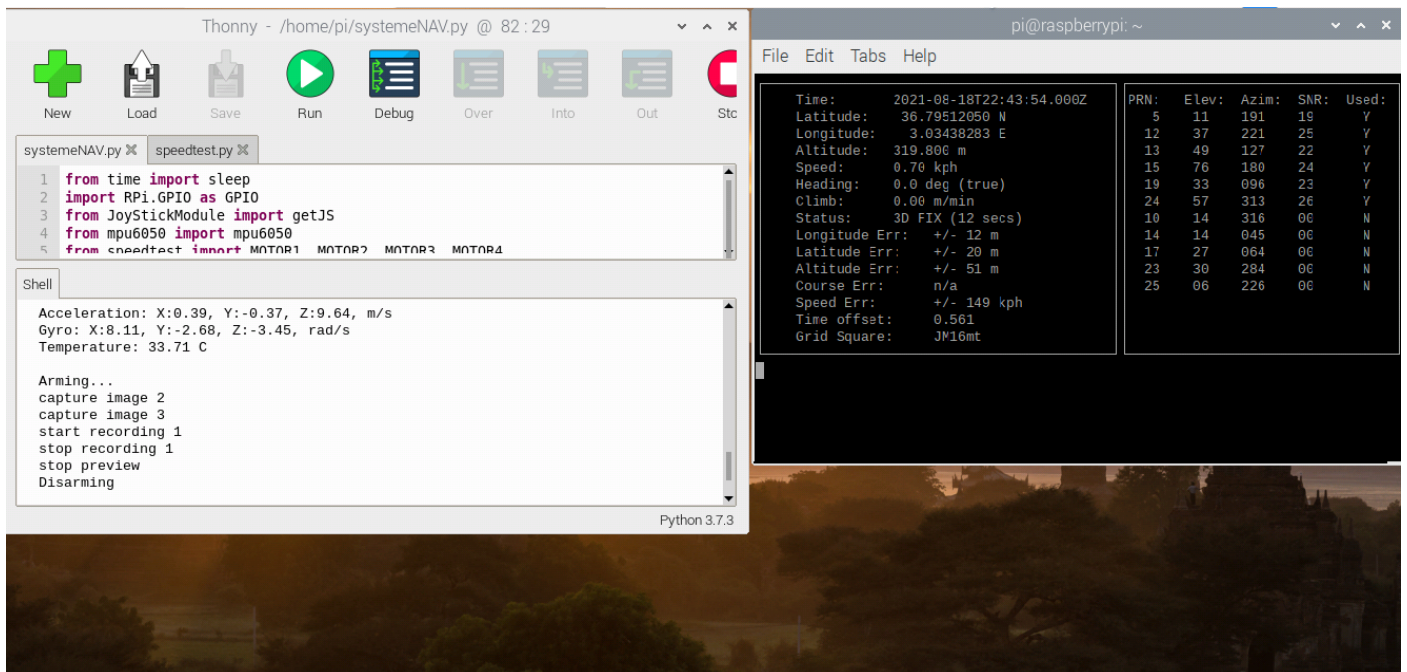


Figure 4.29 : Visualisation des données capturées

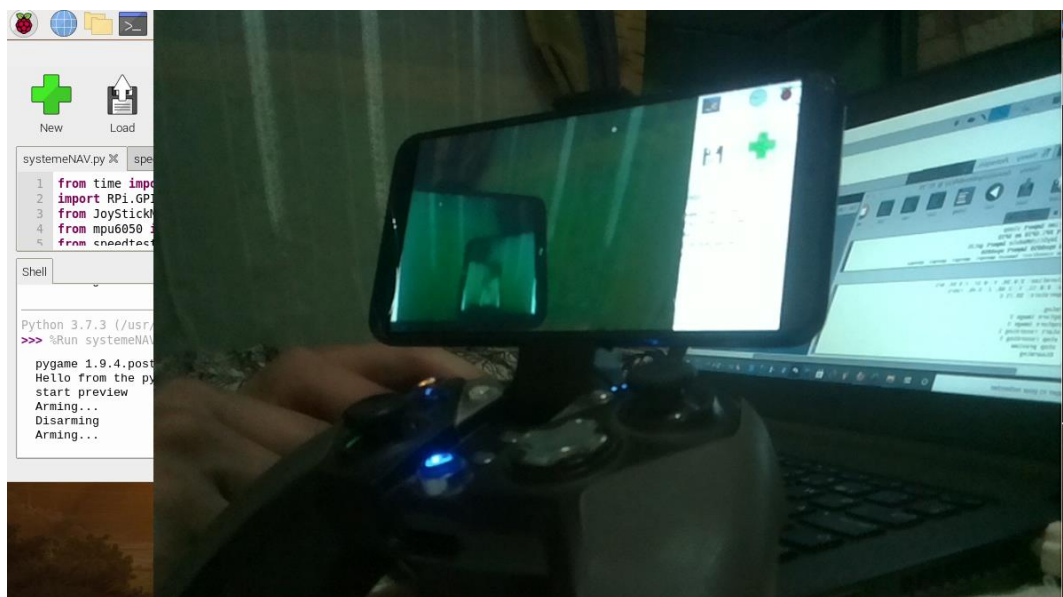


Figure 4.30 : Réception vidéo

NB : Quant au test de vol, nous n'avons pas voulu prendre le risque de piloter le quadricoptère car la partie "correcteur PID" n'est pas encore terminée.

4.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les différents tests individuelle sur les capteurs, la Pi caméra, le dispositif de control et les différents moteurs, nous avons aussi expliqué comment on a réalisé la carte d'acquisition PCB et le support caméra en mettant en place la structure des étapes à suivre pour la réalisation et la programmation du système de navigation. Ensuite, on a présenté le schéma électrique et l'organigramme. À la fin, un test global est fait pour montrer la manière de commande de quadricoptère et l'ensemble du système réalisé via un joystick et la façon d'afficher les données des capteurs et les scènes capturées par la caméra sur un smartphone.

Conclusion générale

Notre projet visant l'étape technologique en matière d'autonomie décisionnelle dans l'autonomie :

- de contrôle du vol et de conduite de mission,
- d'acquisition et de traitement d'information,
- de décision embarquée.

Le quadricoptère en tant qu'engin volant appartenant au domaine de la robotique aérienne a permis de simuler expérimentalement son interfaçage à l'opérateur pouvant le contrôler à distance ou à l'aide d'un autre système. Pour ce faire, un tour d'horizon a été effectué pour avoir une idée générale sur les différentes catégories des drones, UAV à voilure tournante ainsi que la vision sur les différents mouvements qu'un quadricoptère peut faire. Plusieurs il a été fait appel à :

- Un sous-système de mesure d'accélération, de vitesse angulaire, de longitude, de latitude, d'altitude, ainsi que de vitesse en temps réel,
- Un sous-système de traitement des données,
- Un sous-système de contrôle à distance,
- Un sous-système de transmission et d'affichage.

Ce travail a fait ressortir l'architecture hardware et software sur laquelle devait être bâti notre système de navigation. Nous avons opté pour un microprocesseur très basse consommation disposant de toutes les ressources matérielles nécessaires et disposant d'une capacité de calcul importante.

Les différents programmes implémentés sur notre système ont été validés par des tests au niveau du laboratoire, les résultats obtenus sont très concluants et encourageant pour la suite à donner.

Ce projet, nous a permis d'acquérir des connaissances et un savoir-faire dans le domaine des drones, des microprocesseurs, des systèmes embarqués et de leur programmation.

Comme la maîtrise de l'autonomie décisionnelle à bord de chaque engin est surtout un enjeu clé pour lever les dernières barrières qui font encore aujourd'hui une différence importante entre des systèmes aéronautiques inhabités, le domaine des systèmes embarqués reste très vaste, nous suggérons dans les perspectives à venir d'ajouter de nouvelles applications pour envisager les implications des systèmes autonomes aériens, terrestres ou marins qui permettent d'ouvrir le verrou technologique dans l'autonomie décisionnelle.

Bibliographie

- [1] BENAÏSSA Med Rida. «Étude & implémentation d'une loi de commande pour le pilotage d'un drone quadrirotor». Université de Telemcen, 2017.
- [2] Pascal Brisset. « Drones civils : Perspectives et réalités ». Ecole nationale de l'aviation civile, Août 2004.
- [3] Schmidt, Blake, Vance, Ashlee. « DJI Won the Drone Wars, and Now It's Paying the Price ». March 2020.
- [4] Dominique, Nora. « Le marché du drone civil atteindra 2 milliards de dollars ». 2015.
- [5] MARIA DE FATIMA BENTO. « Unmanned Aerial Vehicles: An overview ». 2010.
- [6] LUKAS. « Drone by LUKAS ». 2020.
- [7] Site web : www.studiosport.fr. « Utilisation d'un drone : ce que dit la loi ». 2020.
Lien : <https://www.studiosport.fr/guides/drones/la-reglementation-relative-aux-drones.html>
- [8] KEDDAR Manel et MERAZKA Sarah. « Etude dynamique, simulation et réalisation d'un quadrirotor ». Université Saad Dahleb Blida, 2015.
- [9] Michel Vonlanthen. « Description de la mise en route de la Framboise ». 2019.
- [10] Gareth Halfacree. « THE OFFICIAL Raspberry Pi Beginner's Guide ». 2019.
- [11] Liz Upton. « The Official Raspberry Pi Projects Book ». 2020.
- [12] Dominique. « Le guide pour bien démarrer sur Raspberry ». 2014.
- [13] Dunod, « Programmez un Raspberry pi ». Paris, 2014.
- [14] Site web : www.raspberrypi.org. «Raspberry Pi OS». 2021.
Lien : <https://www.raspberrypi.org/software/>
- [15] Jérémy PASTOURET. « Présentation du Raspberry Pi ». 2016.
- [16] Jonathan. « La famille Raspberry Pi ». 2019.
- [17] Colby Gallup. « What Programming Language Does Raspberry Pi Use? ». 2021.
- [18] Génération Robots. « Présentation de la Raspberry Pi 3 modèle B ». 2021.
- [19] MOHAMMEDI Feriel, IRBAH Nouria « Conception d'un autopilote pour un drone léger type quadri-rotor » Université Saad Dahleb Blida, 2019.
- [20] Russell Barnes. « Using the new Python IDE in Raspbian ». 2017.

[21] Frédéric Fassot. « Labcenter introduit la version 8.12 de la suite logicielle Proteus pour des projets multi-cartes ». 2021.

[22] DEVELOP3D. « Blender 2.9 Review ». 2020.

[23] Admin. « C'est quoi le signal PWM ? ». 2016.

[24] JORDANDEE. « Pulse Width Modulation ». 2013.

[25] Saddam. « MPU6050 Gyro Sensor Interfacing with Raspberry Pi ». 2018.

[26] Arijit Das. « Use Neo 6M GPS Module with Raspberry Pi and Python ». 2019.

[27] Lady ada. « Pi GPS Setup ». 2021.

[28] Liz Smart. « Getting started with the Camera Module ». 2021.

[29] Administrator « How to Control a Servo Motor using Raspberry Pi? ». 2018.

[30] AGTx. « Driving an ESC/Brushless-Motor Using Raspberry Pi ». 2017.

[31] Lauri Niskanen. « ds4drv ». 2018.

[32] CFAURY. « pygame ». 2017.

[33] Site web : uk.pi-supply.com. « Raspberry Pi Camera Board v1.3 ». 2021.

Lien : <https://uk.pi-supply.com/products/raspberry-pi-camera-board-v1-3-5mp-1080p?lang=fr>

[34] Site web : ledisrupteurdimensionne.com. « Servo SG90, Micro Servo 9G ». 2020.

Lien : <https://ledisrupteurdimensionnel.com/arduino/servo-sg90-micro-servo-9g/>

[35] Site web : fr.aliexpress.com. « Joystick de jeu GameSir G4s ». 2021.

Lien : <https://fr.aliexpress.com/i/32800714011.html>

[36] Site web : www.debian.org. « À propos de Debian ». 2021.

Lien : <https://www.debian.org/intro/about.fr.html>