

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU FACULTÉ
DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE DÉPARTEMENT
ÉLECTRONIQUE**

Mémoire de fin d'études en Master

DOMAINE : Sciences et technologies

FILIÈRE : Électronique

SPÉCIALITE : Instrumentation

Thème :

**Élaboration d'un système de communication basé sur une
liaison hertzienne**

Présenté par :

TAGUINE Lydia.

KADER Sarah.

Encadré par :

Mr. IDJERI Boussad.

Mémoire soutenu le 27 juin 2024 devant le jury Composé de :

Président : Mr.BENSIDHOUM Mohand Tahar .

Promoteur : Mr.IDJERI Boussad .

Examineur : Mr.IRATNI Salim.



Remerciement

Avant toute chose, je remercie Allah, le tout puissant de m'avoir donné toute la force, le courage et la patience pour élaborer ce travail.

Nous remercions également nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous.

Nous tenons aussi à remercier Monsieur IDJERI, notre encadreur pour toute l'aide qu'il nous a apporté, ainsi tous nos professeurs qui nous ont suivi tout au long de notre cursus universitaire.

Nos plus vifs remerciements vont aussi aux membres du jury qui ont bien voulu nous honoré en acceptant d'examiner notre travail.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude À nos très chers parents qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

Nous dédions aussi ce travail à notre famille et à tous nos amis, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont soutenus.

..

Sarah et Lydia



Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur la transmission des données		
Figure	Titre	Page
Figure I.1	Système de transmission	3
Figure I.2	Propagation des ondes électromagnétiques	4
Figure I.3	Transmission simplex	6
Figure I.4	Transmission Half-duplex	6
Figure I.5	Transmission Full-duplex	6
Figure I.6	Liaison parallèle	7
Figure I.7	Liaison série	7
Figure I.8	Transmission synchrone	8
Figure I.9	Transmission asynchrone	8
Figure I.10	Schéma d'un système radiofréquence	10
Figure I.11	Chaîne de transmission	10
Figure I.12	Modulation d'amplitude (AM)	12
Figure I.13	Modulation de fréquence (FM)	13
Figure I.14	Modulation de phase (PM)	14
Figure I.15	Schéma démodulation	15

Liste des figures

Chapitre II : Description de la partie matérielle et logicielle		
Figure	Titre	Page
Figure II.1	Carte arduino Nano	17
Figure II.2	Diagramme des broches de l'Arduino Nano	18
Figure II.3	Module émetteur /récepteur NRF24L01+	19
Figure II .4	Brochage NRF24L01+	21
Figure II.5	Composition du Moteur Brushless	21
Figure II.6	Contrôleur de vitesse L'ESC 30	23
Figure II.7	Brochage contrôleur de vitesse ESC 30 avec le moteur Brushless et arduino nano	24
Figure II.8	Alimentation électrique	24
Figure II.9	Régulateur de Tension	25
Figure II.10	Hélices	25
Figure II.11	Servomoteurs	26
Figure II.12	Schéma de câblage de servo moteur	27
Figure II.13	Fonctionnement de srvo moteur SG90	27
Figure II.14	Joystick a deux axes.	27
Figure II.15	Câblage d'un joystick avec Arduino	28
Figure II.16	Eléments de logiciel Arduino	29
Figure II.17	Barre des boutons du logiciel Arduino	29
Figure II.18	Structure de la programmation	30

Liste des figures

Chapitre III : Elaboration du système de transmission.		
Figure	Titre	Page
Figure III.1	Prototype avionique	32
Figure III.2	Schéma synoptique du système de communication	33
Figure III.3	Schéma synoptique du système de l'émission	35
Figure III.4	Schéma de câblage du système d'émission sur le logiciel Fritzing	35
Figure III.5	Réalisation pratique de l'émetteur	36
Figure III.6	Schéma synoptique du système de récepteur	36
Figure III.7	Schéma électronique de câblage du système de réception sur le logiciel Fritzing	37
Figure III.8	Réalisation pratique de réception	37
Figure III.9	Schéma simplifié de la configuration SPI Maître /Esclave	38
Figure III.10	Organigramme fonctionnement du système de l'émission.	39
Figure III.11	Organigramme fonctionnement du système de la réception	40
Figure III.12	Affichage sur moniteur série	41
Figure III.13	Test pour les servo moteurs	41
Figure III.14	Test du moteur brushless avec contrôleur ESC	42

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques et spécificités de la carte arduino Nano .

Tableau II.2 : Rôle de chaque broche du l'Arduino Nano .

Tableau II.3 : Rôle de chaque broche du module NRF24L01+.

Tableau II.4: Raccordement du NRF24L01+ à l'Arduino .

Tableau II.5 : Caractéristiques du servo moteur SG90 .

Acronymes :

RF : Radio Fréquence.

AM : Modulation d'amplitude.

FM : Modulation de fréquence.

PM : Modulation de phase PM.

HF : haut Fréquence.

BF : basse Fréquence.

IDE : Environnement de développement intégré.

PWM : Modulation De La Largeur D'impulsion.

SPI : Interface série série .

I2C : inter integrated circuit.

CSN: Chip SPI Select.

CE: Chip Enable.

MOSI : Entrée de sortie maitre esclave.

MISO : Sortie esclave d'entrée principale.

Sck : Serial CloCk .

IRQ : Interrupt Request .

ESC : Electronic Speed controllers .

LCD : Liquid Crystal Display .

RST : Reset .

DC : Data/Command .

Sommaire

Introduction	1
 Chapitre I : Généralités sur la transmission des données.	
I.1) – Préambule	3
I.2) - Transmission de données	3
I.2.1) - Système de transmission	3
I.3) - Domaines d'application	5
I.4) - Modes de transmission.....	5
I.5) - Types de transmission.....	7
I.5.1) - Transmission parallèle	7
I.5.2) -Transmission série	7
I.5.2.1) - Type de liaison Série.....	8
I.6) - Liaisons hertziennes	9
I.6.1) - Avantages et inconvénients des liaisons hertziennes.....	9
I.6.2) - Systèmes à base de liaisons hertziennes	9
I.7) - Communication radiofréquence.....	9
I.8) - Chaîne de transmission	10
I.8.1) - Codage source	11
I.8.2) - Codage canal	11
I.8.3) –Modulation	11
I.8.3.1) - Types de modulation.....	12
I.8.3.1.1) - Modulation d’amplitude (AM)	12
I.8.3.1.2) - Modulation de fréquence (FM).....	13
I.8.3.1.3) - Modulation de phase (PM)	14

I.8.4) – Démodulation	15
I.8.5) - Décodage source	15
I.8.6) - Décodage canal	15
I.9) - Conclusion	15

Chapitre II : Description de la partie matérielle et logicielle.

II.1) – Préambule	16
II.2) - Présentation du cahier des charges	16
II.3) - Carte Arduino	16
II.3.1) - Caractéristiques et spécificités	17
II.3.2) - Configuration des broches de l'Arduino Nano	18
II.4) - Module NRF24	19
II.4.1) - Caractéristiques du NRF24L01	19
II.4.2) - Brochage NRF24L01	20
II.5) - Moteur Brushless	21
II.5.1) - Caractéristiques du moteur Brushless	22
II.5.2) - Fonctionnement du moteur Brushless	22
II.6) - Contrôleur de vitesse ESC	22
II.6.1) - Caractéristiques de ESC	23
II.6.2) - Fonctionnement de ESC	23
II.6.3) - Câblage de ESC avec Arduino	23
II.7) - Alimentation électrique	24
II.8) - Régulateur de Tension	24
II.9) – Hélices.....	25
II.10) - Servomoteurs	26
II.10.1) - Caractéristiques du SG90	26
II.10.2) - Schéma de câblage.....	26
II.10.3) – Fonctionnement.....	27
II.11) - Module Joysticks à deux axes	27
II.11.1) - Câblage de joystick.....	28

II.12) - Présentation du logiciel	28
II.12.1) - Programmation sur Arduino	30
II.13) – Conclusion	31

Chapitre III : Elaboration du système de transmission.

III.1) –Préambule	32
III.2) - Prototype de l'avion	32
III.3) - Mise en œuvre du système de transmission (émetteur / récepteur)	33
III.3.1) - Transmetteur en bande de base.....	33
III.3.2) – Modulateur	33
III.3.3) - Convertisseur RF	33
III.3.4) - Canal de communication	33
III.3.5) - Convertisseur RF vers basse fréquence	34
III.3.6) – Démodulateur.....	34
III.3.7) - Récepteur en bande de base.....	34
III.4) - Système de l'émission et de la réception.....	34
III.4.1) – Emetteur.....	34
III.4.2) – Récepteur	36
III.5) - Configuration maitre esclave.....	37
III.6) - Programmation des cartes Arduino	38
III.7) - Tests et résultats.....	40
III.7.1) - Test du code Arduino avec le moniteur série	40
III.7.2) - Test finale pour les composants.....	41
III.8) Discussion	42
Conclusion et perspectives	43

Références bibliographique

Introduction

Introduction :

Les développements des nouvelles technologies de communication et de l'information jouent un rôle crucial dans la vie moderne. En effet, leur introduction dans les domaines de la santé, de la sécurité et de la recherche scientifique, entre autres, a contribué fortement à la révolution technologique. Grâce à cette avancée majeure, des méthodes récentes de transmission ont vu le jour suivant la nature des données à transmettre, telles que la transmission téléphonique pour la voix et la transmission d'ondes électromagnétiques via des liaisons hertziennes. La transmission sans fil est un mode de communication à distance utilisant des ondes électromagnétiques modulées comme vecteur.

Dans le domaine grand public, les applications les plus courantes des transmissions sans fil incluent les téléphones portables, les GSM, les réseaux Wi-Fi, les réseaux mobiles et la télévision numérique terrestre et par satellite. Dans le domaine professionnel, les applications concernent les communications maritimes et aériennes, celles des services de sécurité et des armées, les liaisons entre satellites et installations à terre, les télécommandes RF et bien d'autres usages. La liaison hertzienne occupe une place importante dans le monde de la transmission sans fil à base de radiofréquence.

Le principe de la transmission RF (Radio Fréquence) par liaisons hertziennes repose sur l'utilisation d'ondes électromagnétiques pour transmettre des signaux sans fil sur de longues distances. Les signaux électriques sont convertis en ondes radio par un émetteur, puis ces ondes se propagent dans l'espace. À l'extrémité réceptrice, une antenne capte les ondes radio et les convertit à nouveau en signal électrique pour le traitement. Cette méthode de transmission est largement utilisée dans divers domaines tels que les télécommunications, la diffusion radio et télévisuelle, ainsi que dans les réseaux sans fil.

Dans cette optique, le travail présenté dans ce mémoire consiste à réaliser un système de commande à distance d'un prototype avionique. Afin de remplir cette tâche nous avons utilisé deux cartes Arduino pour contrôler et traiter les informations, deux servomoteurs, un moteur Brushless et deux transmetteurs radio pour l'émission et la réception des données.

Le mémoire présentant le travail à réaliser est constitué de trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons les principes de la transmission de données RF à base des liaisons hertziennes.

Le second chapitre est dédié aux outils matériels et logiciels utilisés pour réaliser les différentes parties composantes de l'avion.

Le troisième chapitre décrit les étapes de l'élaboration du système de commande à distance du prototype avionique.

Enfin, nous terminons par une conclusion et quelques perspectives qui restent à compléter.

Chapitre I :

Généralités sur la transmission
des données

I.1) - Préambule :

Un système de communication a pour fonction d'assurer le transfert de l'information entre un émetteur et un récepteur relié par un canal de transmission. La problématique majeure est de convertir l'information en un signal transmissible et constituable à la réception. Les signaux sont transportés sur des supports guidés (supports cuivre et supports optiques) ou libres (onde hertziens et liaisons satellites).

Dans les paragraphes ci-dessous nous allons détailler les différents modes de transmission de données et leurs principes de fonctionnements. L'accent sera porté sur la transmission radio fréquence à base des liaisons hertziennes.

I.2) - Transmission de données :

La transmission de données implique le transfert d'informations d'un point à un autre, généralement à travers un réseau ou un canal de communication. Cela peut se faire à base de liaisons filaires telles que les câbles Ethernet, les fibres optiques ou non filaires à base des signaux radio.

Les communications sans fil utilisent des ondes électromagnétiques modulées pour des échanges à distance, avec des portées variables, de quelques mètres jusqu'à des centaines de kilomètres avec des protocoles bien définis afin d'assurer une communication fiable.

I.2.1) - Système de transmission :

Un système de transmission est composé d'un émetteur et d'un récepteur reliés par un support de transmission comme illustré par la figure I.1

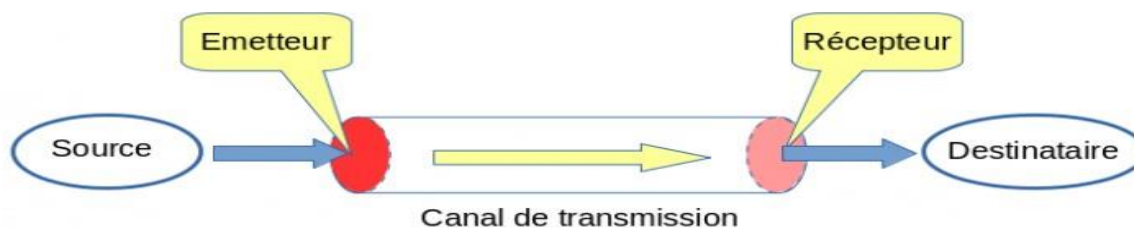


Figure I.1: Système de transmission.

Les émetteurs sont des dispositifs électroniques utilisés pour envoyer des signaux électriques sous forme d'ondes électromagnétique.

En revanche, les récepteurs sont des appareils qui captent et traitent les signaux transmis et les convertissent en signaux physiques compréhensibles tels que les haut-parleurs et les écrans.

Les supports de transmission sont des moyens de conduction des signaux de leur lieu de production vers leur destination avec une réception fiable. On distingue deux catégories de supports de transmission. [1]

- **Supports de transmission filaires** : tels que les câbles coaxiaux, câbles paires torsadés et les fibres optiques
- **Supports de transmission sans fils** : dont les informations sont contenues dans des ondes électromagnétiques comme les ondes radio, Infra-rouge et Micro-ondes.
- ✓ **Ondes radio** :

Les ondes radio (ou onde hertzienne) sont des ondes électromagnétiques qui se propagent d'une antenne émettrice vers une antenne réceptrice. Elles permettent de transmettre des signaux de données numériques ou analogiques.

Une onde électromagnétique comporte à la fois un champ électrique E, un champ magnétique B qui sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre et oscillent à la même fréquence. Ces champs se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale et s'effectue à une vitesse qui dépend du milieu considéré. Dans le vide la vitesse de propagation est égale à 3×10^8 m/s. [2]

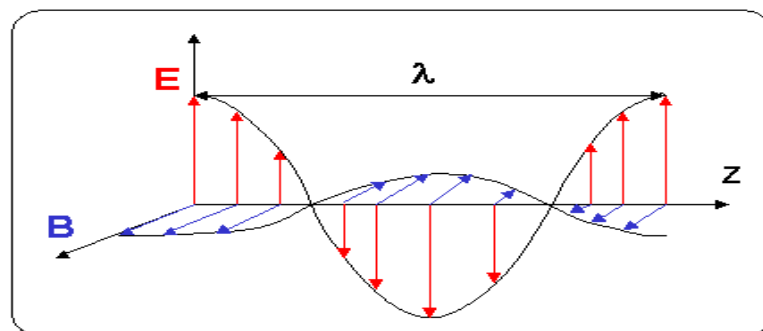


Figure I.2 : Propagation des ondes électromagnétiques.

Une onde électromagnétique est caractérisée par :

Longueur d'onde λ : Elle est représentée par la distance entre deux maximums consécutifs ou par la distance parcourue pendant une période.

$$\lambda = \frac{C}{F} = C \cdot T \quad (I)$$

Où :

λ : longueur d'onde électromagnétique.

C : vitesse de propagation (3×10^8 m/s).

La période (T) : Elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle (En seconde) .

La fréquence (F) : c'est l'inverse de la période. En un point donné, c'est le nombre de maximums de champ par seconde. Elle s'exprime en Hertz (Hz). Par conséquent, plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et réciproquement.

Polarisation : C'est l'orientation du champ électrique par rapport à l'horizontale.

I.3) - Domaines d'application :

Voici quelque domaines d'application de système de transmission :

- **Domotique** : utilisant des technologies de communication sur des courtes distances comme le Wi-Fi, le Bluetooth ...etc.
- **Télésurveillance** : utilisant des technologies de communication sur des longues distances telles que la télémédecine, la télédétection...etc.

I.4) - Modes de transmission :

Il existe 3 modes de transmission ou d'échange de données entre un émetteur et un récepteur : simplex, Half Duplex et full duplex. [3]

➤ Simplex :

Dans ce mode de transmission les données sont envoyées dans une seule direction. Il utilise un seul canal. [3]



Figure I.3 : Transmission simplex.

➤ **Half-duplex :**

Dans ce mode de transmission les données sont envoyées dans les deux sens mais en alternance. Ici on utilise deux canaux un pour l'envoi et l'autre pour la réception. [3]

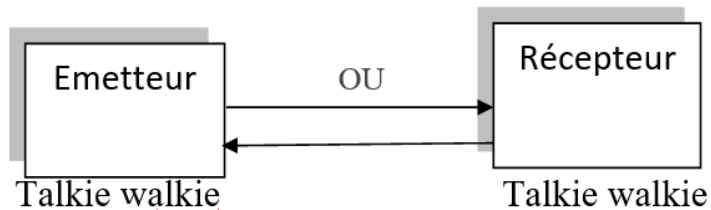


Figure I.4: Transmission Half-duplex.

➤ **Full-duplex :**

Dans ce mode de transmission les données sont envoyées dans les deux directions simultanément. [3]

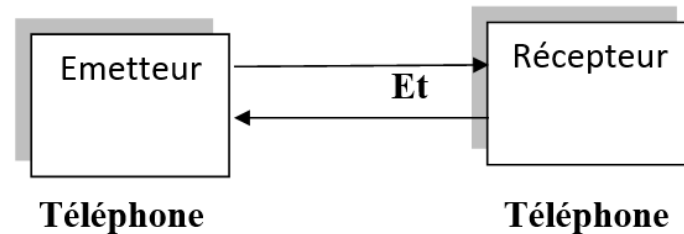


Figure I.5: Transmission Full-duplex.

I.5) - Types de transmission :

Il existe deux types de transmission série et parallèle.

I.5.1) - Transmission parallèle :

Dans ce type de transmission l'envoi de l'information se fait de façon simultanée de N bits sur des voies différentes (une voie étant par exemple un fil, un câble ou tout autre support physique).

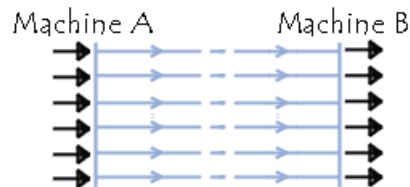


Figure I.6 : Liaison parallèle.

I.5.2) - Transmission série :

Dans une transmission série, les données sont envoyées bit par bit. Toutefois, étant donné que la plupart des processeurs traitent les informations de façon parallèle, il s'agit de transformer des données arrivant de façon parallèle en données série au niveau de l'émetteur, et inversement au niveau du récepteur.

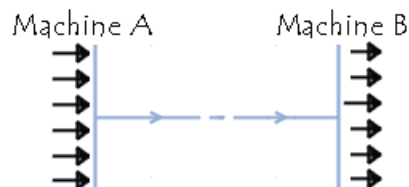


Figure I.7 : Liaison série.

I.5.2.1) - Type de liaison Série :

- **Transmission de synchronisation :**

Etant donné que les informations sont transportées sur un seul canal, le problème de synchronisation se pose entre l'émetteur et le récepteur. Toutefois, pour remédier à ce problème, deux types de transmission existent. [4]

a) - Transmission synchrone :

C'est une transmission par laquelle les bits sont envoyés de façon successive, où le récepteur reçoit de façon continue les informations au rythme envoyés par l'émetteur. Alors l'émetteur et le récepteur sont cadencés à la même horloge et des éléments de synchronisation doivent être établis lors de la transmission. [4]

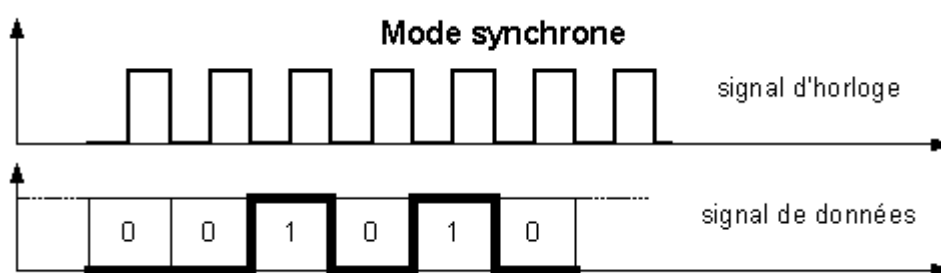


Figure I.8 : Transmission synchrone.

b) - Transmission asynchrone :

C'est une transmission par laquelle chaque caractère est précédé d'une information de début de transmission :

« bit START » et terminé par une information de fin de transmission « bit STOP », sont émis de façon irrégulière dans le temps . [4]

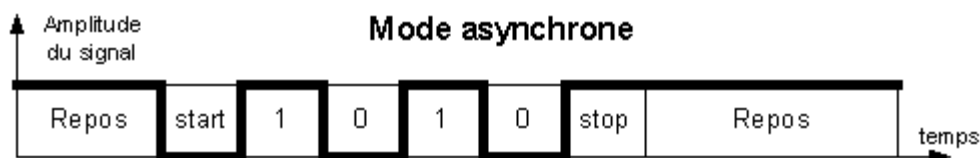


Figure I.9: Transmission asynchrone.

I.6) - Liaisons hertziennes :

La liaison hertzienne est une des liaisons les plus utilisées. Cette liaison consiste à relier des équipements radio en se servant des ondes radio. Une liaison hertzienne, également appelée

liaison radio, est un système de communication sans fil qui utilise des ondes radioélectriques pour transmettre des signaux entre des émetteurs et des récepteurs sur de longues distances. [5]

I.6.1) - Avantages et inconvénients des liaisons hertziennes :

- **Avantages :**
 - Mise en œuvre aisée.
 - La même information peut être transmise d'un émetteur vers plusieurs récepteurs.
 - Haut débits sur des longues distances.
- **Inconvénients :**
 - Sécurité limitée.
 - Sensible aux perturbations atmosphériques et électromagnétiques.
 - Bande de fréquence imposée pour chaque système de transmission.

I.6.2) - Systèmes à base de liaisons hertziennes :

Voici quelques exemples de systèmes utilisant les liaisons hertziennes, la liste qui suit n'est, bien sûr, pas exhaustive. [5]

- La radiodiffusion (en modulation d'amplitude ou de fréquence).
- La télédiffusion (analogique ou numérique, terrestre ou par satellite).
- Les radiocommunications : talkie-walkie, les faisceaux hertziens.
- La téléphonie : téléphone mobile.
- Internet : liaison Wi-Fi (réseau Internet sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise).

I.7) - Communication radiofréquence :

La communication par radiofréquence, souvent abrégée en "RF", désigne la transmission d'informations sans fil en utilisant des ondes électromagnétiques. Ces ondes se propagent à travers l'air ou d'autres milieux, et sont générées par des dispositifs émetteurs et reçues par des dispositifs récepteurs. Elle est largement utilisée dans divers domaines, tels que les télécommunications, la diffusion audio et vidéo, la navigation, les télécommandes, les systèmes de sécurité... etc.

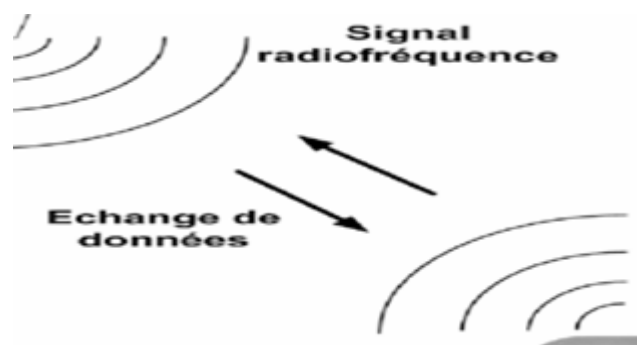


Figure I.10: Schéma d'un système radiofréquence.

La communication radio fréquence désigne une gamme de fréquence entre 3 KHz et 300 GHz ce qui comprend plusieurs protocoles et moyen de radio communication, à savoir la téléphonie mobile, Bluetooth, Wifi, IEEE 802.11, Zigbee, module RF etc. Chaque radiocommunication est caractérisée par une bande de fréquence et un type de modulation.

I.8) - Chaîne de transmission :

La chaîne de communication numérique représente les différentes étapes de traitement de l'information. Elle relie l'émetteur au récepteur par l'intermédiaire d'un canal de transmission. [6]

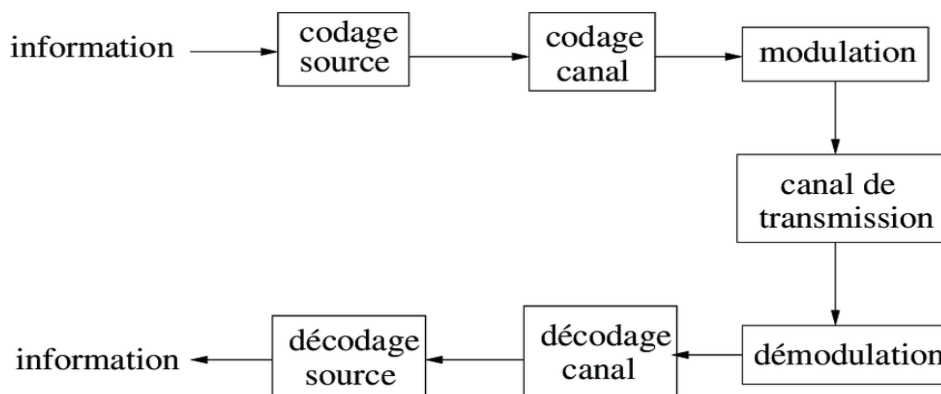


Figure I.11 : Chaîne de transmission.

I.8.1) - Codage source :

Effectue une mise en correspondance entre l'alphabet du message et celui du canal. Par exemple, un texte dont les symboles sont les lettres et les signes de ponctuation est transformé en message binaire dont les symboles sont 0 et 1. Le codage source peut également effectuer une compression des données, c'est-à-dire réduire le plus possible la taille du message qui sera effectivement transmis.

I.8.2) - Codage canal :

Ajoute de la redondance dans le message ; le message est donc rallongé. L'objectif est de protéger le message des erreurs de transmission. Les codes utilisés permettent de détecter la présence d'erreurs dans le message reçu, et parfois même de les corriger.

I.8.3) - Modulation :

Elle consiste à modifier un ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse centrée sur la bande de fréquence du canal de transmission.

Elle consiste à greffer un signal utile (appelé également signal modulant) sur un signal haute fréquence (appelé porteuse). Ce procédé permet de travailler avec des antennes de taille raisonnable et d'effectuer des transmissions sur de plus longues distances (les ondes électromagnétiques interagissant moins avec le milieu que les ondes sonores). Il y a 3 types de modulations : d'amplitude, de phase et de fréquence . [7]

$$V(t) = v_m \sin(2\pi f t + \varphi_0) \quad (\text{I.1})$$

Les paramètres ajustables sont :

- L'amplitude : V_m .
- La fréquence : f .
- La phase : φ_0 .

➤ Onde porteuse :

L'onde porteuse est une onde sinusoïdale, qui verra un de ses paramètres (amplitude, fréquence ou phase) être modifié par le signal modulant. Le paramètre qui varie définit le type de modulation. La porteuse est modulée par un signal modulant. La fréquence porteuse est

créée pour transporter des informations. En modulant cette fréquence, on peut transmettre des signaux audio, vidéo ou de données sur de longues distances de manière efficace et fiable.

La fréquence porteuse permet également de séparer différents canaux de communication pour éviter les interférences. [7]

➤ **Signal modulant :**

Ce signal modifie un des paramètres (amplitude, fréquence ou phase) de la porteuse. Il correspond au signal basse fréquence BF informatif à transmettre.

➤ **Signal modulé :**

C'est le signal résultant de la modulation. Il correspond au signal haut fréquence HF support de la transmission de l'information.

I.8.3.1) - Types de modulation :

Il existe trois types principaux de bases permettant à un signal radio (signal RF) d'être modulé :

I.8.3.1.1) - Modulation d'amplitude (AM) :

C'est une technique dans laquelle l'amplitude de la porteuse est modifiée en fonction du signal d'entrée à fréquence fixe. [8]

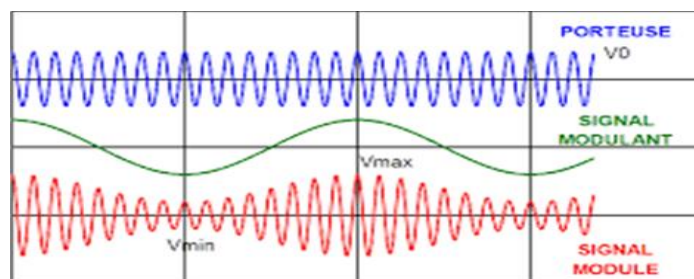


Figure I.12: Modulation d'amplitude (AM).

La modulation d'amplitude permet la transmission de signaux de faibles fréquences par ondes électromagnétiques. Le signal à transmettre (musique, voix ...) (appelé signal modulant), signal de basse fréquence (B. F), est transformé en tension électrique par un microphone ; la tension ainsi formée est utilisée pour faire varier ou moduler l'amplitude d'un signal de Haute Fréquence (H.F) appelée porteuse qui est donnée par l'équation I.2.

$$u_p(t) = (U_p)_{\text{Max}} \cos(2. \pi. f_p. t) \quad (\text{I.2})$$

Le signal modulant est une tension sinusoïdale $U_s(t)$ de fréquence f_S :

$$U_s(t) = (U_S)_{\text{Max}} \cos(2. \pi. f_S. t) \quad (\text{I.3})$$

Le signal modulé ainsi formé est transformé en une onde électromagnétique de mêmes fréquences, au moyen d'une antenne émettrice ayant le résultat de cette modulation le signal modulé est donnée par l'équation (I.4).

$$U_m(t) = [a. u_S(t) + b]. \cos(2. \pi. f_p. t) \quad (\text{I.4})$$

Dans l'équation I.2. $U_p(t)$ sinusoïdal consiste à transformer son amplitude constante $(U_p)_{\text{Max}}$ en une fonction affine de la tension modulant $u_s(t)$:

Où **a** et **b** sont des constantes.

A la réception une antenne capte l'onde électromagnétique et restitue le signal électrique modulé. Ce qui permet d'extraire le signal modulant d'origine du signal modulé.

I.8.3.1.2) - Modulation de fréquence (FM) :

Ce type de modulation consiste à faire varier la fréquence du signal porteur en fonction du signal modulant (l'information). [8]

Une représentation graphique du signal modulé en fréquence est donnée ci-dessous.

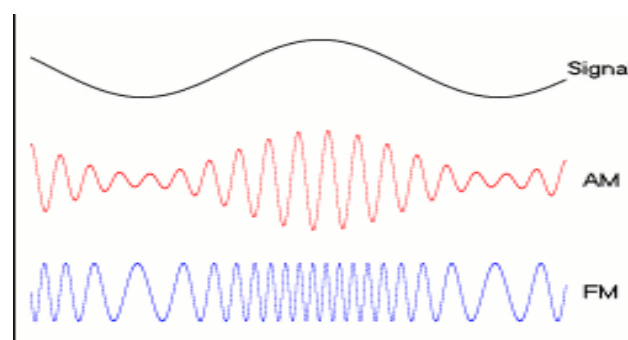


Figure I.13 : Modulation de fréquence (FM).

La FM est largement utilisée dans les communications radio et audio, notamment pour la diffusion radio FM et la transmission de données sans fil.

$$\text{Signal modulant} \quad S_M(t) = A_m \cos(W_m t) \quad (\text{I.5})$$

$$\text{Signal Porteur} \quad S_p(t) = A_p \cos(W_p t) \quad (\text{I.6})$$

Le signal modulé en fréquence s'écrit :

$$S(t) = A_p \cos(W_p t) + \beta \sin(W_m t) \quad (I.7)$$

Avec :

$\beta = \Delta f / f_m$: indice de modulation .

La fréquence instantanée de signal $S(t)$ modulé en fréquence s'écrit :

$$f(t) = f_p + K S_m(t) \quad (I.8)$$

I.8.3.1.3) - Modulation de phase (PM) :

C'est une est une technique de modulation dans laquelle la phase de la porteuse est modifiée par le signal modulant. Elle consiste à faire déphaser le signal de la porteuse (signal modulé) par le signal à transmettre (signal modulant) sans faire varier la fréquence et l'amplitude. [8]

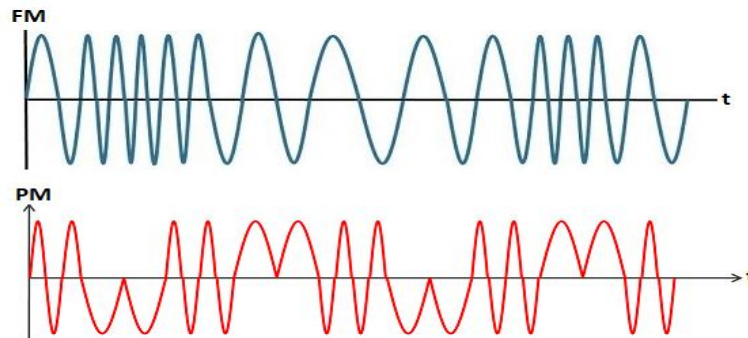


Figure I.14 : Modulation de phase (PM).

L'équation du signal modulé est donnée ci-dessous.

$$V(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi(t)) \quad (I.9)$$

Où :

$v(t)$: signal modulé en phase.

A_c : l'amplitude de la porteuse.

f_c : la fréquence de la porteuse.

$\phi(t)$: la fonction de phase, qui est généralement modulée par un signal modulant.

$\phi(t) = k_p \cdot m(t)$.

k_p : le coefficient de sensibilité de phase, qui détermine la sensibilité de la phase à la variation du signal modulant.

$m(t)$: le signal modulant.

I.8.4) - Démodulation :

La démodulation est le processus consistant à extraire l'information utile du signal modulé pour récupérer les données transmises après qu'elles ont été combinées avec un signal porteur. Cela consiste à récupérer le signal modulant basse fréquence. L'exemple d'un signal démodulé en amplitude est illustré par la figure ci-dessous.

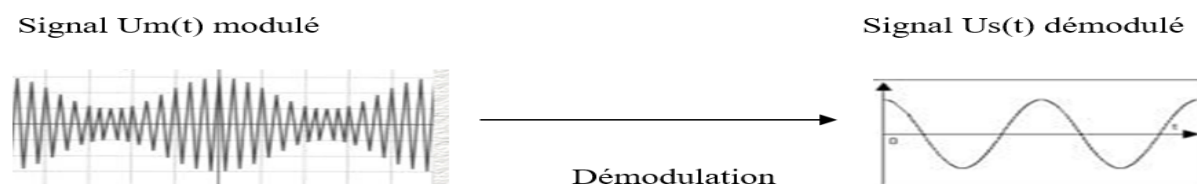


Figure I.15 : Schéma démodulation.

I.8.5) - Décodage source :

Décodage source est le processus de récupération des données d'origine à partir des données codées ou compressées reçues pendant la transmission.

I.8.6) - Décodage canal :

Le décodage canal est un processus essentiel dans les communications numériques pour récupérer les données d'origine en dépit d'erreurs induites lors de la transmission. Il implique la détection et la correction des erreurs, suivies du décodage proprement dit pour récupérer les données dans leur forme d'origine.

I.9) - Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les principes de la transmission de données, tout en mettant un l'accent sur la transmission radiofréquence via les liaisons hertziennes. Ensuite détaillé les différentes étapes de traitement de l'information de la transmission jusqu'à la réception. Le prochain chapitre sera consacré à la description du matériel utilisé afin d'élaborer notre propre système de transmission.

Chapitre II :

Description de la partie
matérielle et logicielle

II.1) - Préambule :

L'élaboration de tout système de communication doit passer par une compatibilité du logiciel et matériel afin d'assurer son bon fonctionnement. Dans ce contexte, ce chapitre sera consacré à la description du matériels (hardware) et logiciels (software) utilisés pour le développement du système de communication. A cet effet, nous allons présenter le cahier des charges à remplir, ensuite nous allons présenter les différents outils dont nous allons nous servir dans le but de répondre au bon fonctionnement du système.

II.2) - Présentation du cahier des charges :

L'objectif recherché dans ce projet consiste en la réalisation d'un système de commande à distance pour un prototype avionique afin de contrôler sa position spatiale. Afin de remplir cette tâche nous avons utilisé :

- Deux cartes Arduino (Nano) pour acquisition et traitement des données.
- Émetteur et un récepteur de NRF24L01 pour la Transmission de donnée.
- Un moteur brushless pour la propulsion ou un mouvement.
- Un contrôleur de vitesse d'un moteur (ESC) .
- Batterie pour l'alimentation.
- Régulateur de Tension pour (abaisseur pour l'émetteur ,et élévateur pour récepteur).
- Servomoteur contrôler avec précision la position des ailerons.
- Deux module Joysticks pour contrôler les mouvements.
- Hélices pour le déplacement de l'avion dans l'air.

II.3) - Carte Arduino :

C'est une plateforme de prototypage électronique qui combine matériel (hardware) et logiciel (software), facile à utiliser. Elle permet de développer des systèmes électroniques interactifs via l'utilisation de microcontrôleurs programmables. Il existe différents types de cartes Arduino comme Arduino UNO, Arduino Mega, Arduino Nano, Arduino Duo ...

L'Arduino Nano est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega328P. Elle est conçue pour être utilisée pour des petits projets électroniques et peut être programmée en utilisant l'IDE Arduino. Est compacte et facile à utiliser, c'est la plus légère des cartes Arduino. [9]

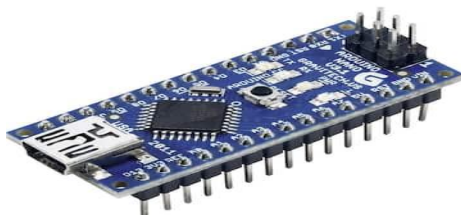


Figure II.1 : Carte arduino Nano.

II.3.1) - Caractéristiques et spécificités :

Caractéristiques et spécificités de la carte arduino Nano présenté par le tableau II.1 .

Caractéristique	Spécificités
Microprocesseur	ATMega328
Mémoire flash	32 kB
Mémoire SRAM	2 Kb
Mémoire EEPROM	1 Kb
Intensité par E/S	40 Ma
Cadencement	16 MHz
Interfaces	- 14 broches d'E/S dont 6 PWM. - 8 entrées analogiques 10 bits. -bus série , I2Cet SPI .
Fiche USB	mini-USB
Boîtier	DIL30
Dimensions	45 x 18 x 18 mm
Alimentation :	Via port USB ou sur la broche d'alimentation 5 Vcc Via la prise l'alimentation non régulée avec une tension de 6 à 20Volts

Tableau II.1 : Caractéristiques et spécificités de la carte arduino Nano .

II.3.2) - Configuration des broches de l'Arduino Nano :

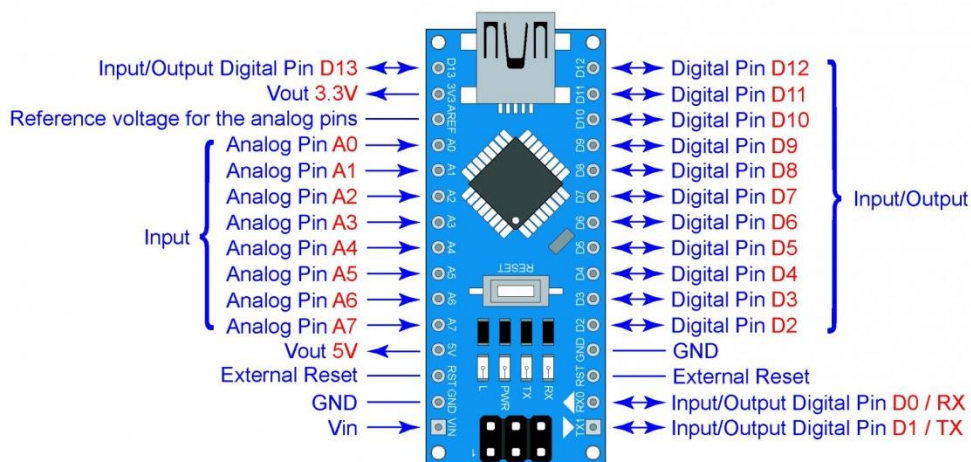


Figure II.2 : Diagramme des broches de l'Arduino Nano.

Le rôle de chaque broche du l'Arduino Nano présenté par le tableau II.2

Catégorie des broches	Nom des broches
Alimentation	Vin, 3.3V, 5V, GND
Redémarrage	Reset
Broches analogiques	A0 – A7
Broches de données d'entrée / sortie	D0 – D13
Liaison série	Rx, Tx
Interruptions externes	2, 3
PWM	3, 5, 6, 9, 11
SPI	10 , 11 , 12 13
I2C	A4 , A5
Tension de référence	AREF

Tableau II.2 : Rôle de chaque broche du l'Arduino Nano .

II.4) - Module NRF24L01 :

C'est un circuit intégré semi-conducteur utilisé sur une grande variété d'applications qui nécessitent un contrôle sans fil . Ce sont des émetteurs-récepteurs, ce qui signifie que chaque module peut transmettre et recevoir des données et peuvent être utilisés avec n'importe quel microcontrôleur (MCU).



Figure II.3 : Module émetteur /récepteur NRF24L01.

II.4.1) - Caractéristiques du NRF24L01 :

- Fréquence : 2,4 GHz et 2,525 GHz .
- Tension d'alimentation : 1,9 à 3,6 V .
- Vitesses de transmission :250Kbps, 1Mbps ou 2 Mbps .
- Les modules NRF24L01 sont faciles à interfacer avec une variété de microcontrôleurs tels que MCU, ARM, AVR en utilisant le protocole SPI « Serial Peripheral Interface ».
- La consommation d'énergie est d'environ 12 mA pendant la transmission.
- Le meilleur choix pour les appareils sans fil dans les applications à faible puissance.

II.4.2) - Brochage NRF24L01 :

Le rôle de chaque broche du module NRF24L01 est présenté par le tableau II.3

BROCHE	SIGNIFICATION
vcc	Alimentation
Gnd	Masse
Sck	Serial Clock
Miso	Master In Slave Out
Mosi	Master Out Slave In
CE	Chip Enable
CSN	Chip Select Not
IRQ	InterruptReQuest

Tableau II.3 : Rôle de chaque broche du module NRF24L01.

Au niveau du raccordement du NRF24L01 à l'arduino, il suffit simplement de relier les broches une à une, directement, chaque arduino a des ports et pins qui lui sont propres. Présenté par le tableau II.4

Arduino	Vcc	Gnd	Sck	Miso	Mosi	CE	CSN	Irq
Nano	+3.3V	Gnd	13	12	11	7	8	n.c

Tableau II.4: Raccordement du NRF24L01 à l'Arduino .

Concernant les broches CE et CSN, il y a bien d'autres endroit où vous pourriez les brancher. Aux broches D9 et D10.

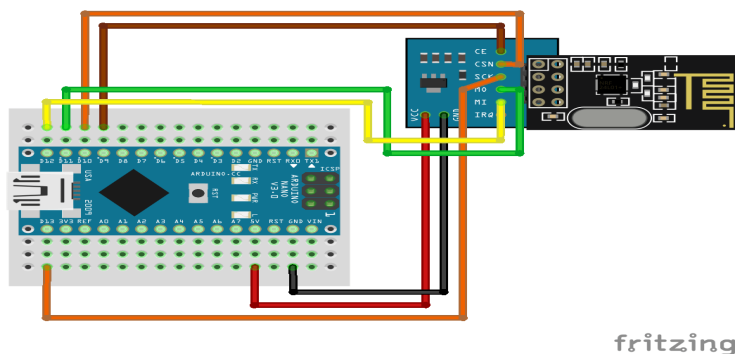


Figure II.4 : Brochage NRF24L01.

II.5) - Moteur Brushless :

Un moteur brushless, aussi appelé moteur sans balais, est un type de moteur électrique synchrone dont le rotor est constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents. Vu de l'extérieur, il fonctionne en courant continu.

Son appellation Brushless vient du fait qu'il ne contient aucun balai. Ces moteurs sont contrôlés par des signaux électroniques pour générer un mouvement mécanique. Ils sont reconnus pour leur fiabilité, leur efficacité énergétique et leur faible niveau sonore, et sont couramment utilisés dans diverses applications industrielles et commerciales. [11]

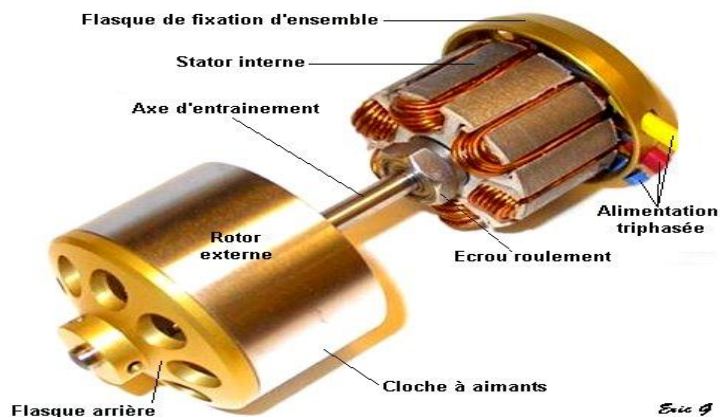


Figure II.5 : Composition du Moteur Brushless.

Les moteurs brushless sont constitués de 3 éléments principaux :

- **Une partie fixe** le stator muni de trois groupes de bobines, appelées les trois phases du moteur. Ces bobines fonctionnent comme des électroaimants et permettent de générer diverses orientations de champ magnétique.

- **Une partie tournante** le rotor, muni d'aimants permanents. Ces aimants vont en permanence entraîner le rotor pour tenter de s'aligner sur le champ magnétique du stator.
- **Trois capteurs magnétiques** à " effet Hall ". Ces capteurs permettent de connaître à chaque instant la position des aimants du rotor.

II.5.1) - Caractéristiques du moteur Brushless :

- Référence : XXD A2212.
- KV: 2200 .
- Dimensions : 27,5 x 30mm .
- Max Efficacité : 80%.
- Efficacité Max actuelle : 4-10A (> 75%) .
- Capacité actuelle : 12A / 60s .
- Poids : 47g .

II.5.2) - Fonctionnement du moteur Brushless :

Pour faire fonctionner un moteur brushless, il suffit de lui fournir une alimentation électrique adéquate via un contrôleur électronique. Ce contrôleur régule ensuite l'alimentation des bobines du stator en fonction de la position détectée du rotor, soit par des capteurs dédiés, soit par des méthodes de commutation sans capteur.

Lorsque le courant circule dans les bobines du stator, il crée un champ magnétique qui attire les aimants du rotor, entraînant ainsi sa rotation. Ce processus se répète en continu pour maintenir le mouvement du rotor, permettant ainsi au moteur de fonctionner et d'accomplir diverses tâches.

II.6) - Contrôleur de vitesse ESC :

L'ESC est un contrôleur de vitesse électronique, il interface la partie commande et la puissance d'un moteur électrique synchrone. Il permet de contrôler et réguler la vitesse et le courant maximum consommé par le moteur. Il est relié à un accumulateur qui va fournir la puissance nécessaire au moteur qui sera choisie en fonction de la consommation (A ampères) et de la tension (V volts) du moteur qu'il devra faire fonctionner. [12]

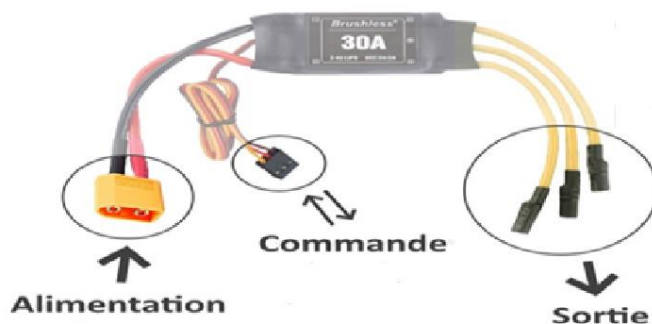


Figure II.6 : Contrôleur de vitesse L'ESC 30 .

II.6.1) - Caractéristiques de ESC:

Tension d'entrée de Protection : 6-12V .

Courant continu : 30A .

Courant de sortie BEC : 5V/3A .

Taille: 54 mm x 26 mm x 11 mm .

Poids: 32 g .

II.6.2) - Fonctionnement de ESC :

Lorsqu'il reçoit un signal de commande de vitesse et de direction, généralement sous forme de signaux PWM, il interprète ces instructions et ajuste la puissance envoyée au moteur en conséquence. Ainsi, pour accélérer le moteur, il envoie plus de puissance, et pour le ralentir, il envoie moins.

II.6.3) - Câblage de ESC avec Arduino :

Les ESC possèdent une interface de commande de type servomoteur à 3 fils : les deux fils d'alimentation (noir / rouge) sont censés être utilisés pour alimenter les autres composants reliés au même système et le fil marron relié à une broche PWM.

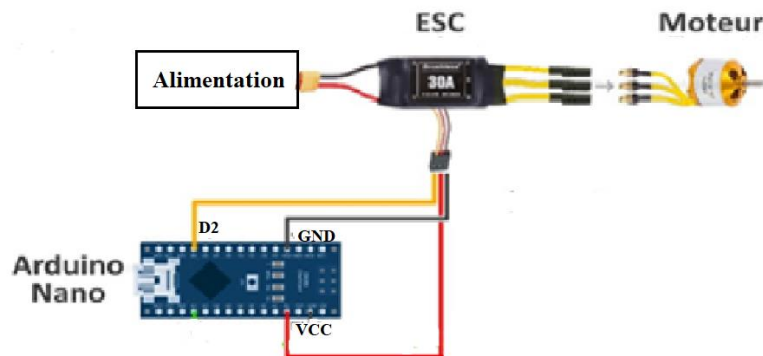


Figure II.7 : Brochage contrôleur de vitesse L'ESC 30 avec le moteur Brushless et arduino nano.

II.7) - Alimentation électrique :

Les batteries et les piles sont des équipements qui transforment l'énergie chimique en énergie électrique. Une batterie de 3,7 (V) et 5000 (mAh) est une source d'énergie rechargeable couramment utilisée dans les appareils électroniques portables. La tension de 3,7V assure une alimentation stable, et sa capacité signifie qu'elle peut fournir 5000 milliampères pendant une heure, ou moins de courant pendant une période plus longue. Ces batteries sont légères, ont une longue durée de vie et stockent beaucoup d'énergies.



Figure II.8 : Alimentation électrique.

II.8) - Régulateur de Tension :

"alimentation élévateur" et "abaisseur" se réfèrent à des types de convertisseurs de tension utilisés dans les circuits électriques et électroniques.

Alimentation élévateur (Boost Converter) est un dispositif électronique qui augmente (ou élève) la tension d'entrée à un niveau de tension de sortie supérieur. Par exemple, il peut convertir une tension de 5V en une tension de 12V. Ce convertisseur utilise un interrupteur électronique (comme un transistor), une diode, une inductance et un condensateur pour stocker l'énergie lors de la phase "on" et la libérer à une tension plus élevée lors de la phase "off".

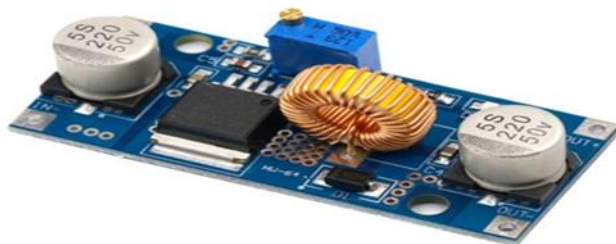


Figure II.9 : Régulateur de Tension.

Alimentation abaisseur (Buck Converter) est un dispositif électronique qui réduit (ou abaisse) la tension d'entrée à un niveau de tension de sortie inférieur. Par exemple, il peut convertir une tension de 12V en une tension de 5V. Ce convertisseur utilise également un interrupteur électronique, une diode, une inductance et un condensateur, mais dans une configuration qui permet de réduire la tension en modulant l'interrupteur pour contrôler la quantité d'énergie transférée à la sortie.

II.9) - Hélices :

Lors de la conception d'un avion, le choix du type de moteur et d'hélice est important et influe sur sa dynamique. Les hélices sont de différents types (grand pas, petit pas), de différentes matières (plastique, carbone, fibre de verre), et différentes tailles. La combinaison moteur hélice doit être choisie en tenant compte de la taille, du poids de l'engin, de la puissance et de l'agilité que l'on souhaite. L'hélice est un dispositif rotatif formé d'un certain nombre de pales ayant un profile d'aile, qui crée une dépression et une surpression de part et d'autre de l'hélice. [13]



Figure II.10 : Hélices.

II.10) - Servomoteurs :

Un servomoteur est un moteur électrique spécifique pour un déplacement angulaire. Un servomoteur permet de se positionner de façon précise sur un angle généralement de 0 à 180 degrés. Il se présente sous la forme d'un boîtier avec deux languettes sur les côtés pour la fixation et un axe décentré avec un bras (interchangeable) pour la liaison mécanique. [14]



Figure II.11 : Servomoteurs.

II.10.1) - Caractéristiques du SG90:

Les caractéristiques de servo moteur SG 90 représenté par le tableau II.5 .

Caractéristiques	Spécificités
Type	Tower proSG90
Dimensions	22 x 11.5 x 27mm
Poids	9g
Matériel principal	Plastique
Couleur principale	Bleu
Vitesse	0.12 s / 60° sous 4.8V - 0,10 s / 60° sous 6.0V
Couple de décrochage	1.2Kg/cm sous4.8V
Tension d'alimentation	4.8V à6V
4.8V à6V	de 0 à180°

Tableau II.5 : Caractéristiques du servo moteur SG90.

II.10.2) - Schéma de câblage :

Le câblage est relativement simple, le fil rouge (ou orange en fonction des constructeurs) du servomoteur doit être connecté sur la broche 5V de la carte Arduino, le fil noir (ou marron en fonction des constructeurs) sur la broche GND et le fil blanc (ou jaune en fonction des

constructeurs) sur une broche numérique de la carte Arduino. la figure II.12 illustre le schéma de câblage.

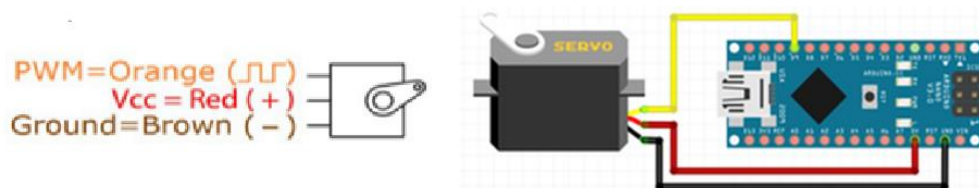


Figure II.12 : Schéma de câblage de servo moteur.

II.10.3) - Fonctionnement :

Un servomoteur standard est positionnable de 0 à 180°. La position est obtenue en envoyant une pulsation de durée définie entre 1 et 2 ms, 1,5 ms donne la position milieu (90°), 1 ms la position mini (0°) et 2 ms la position maxi (180°).

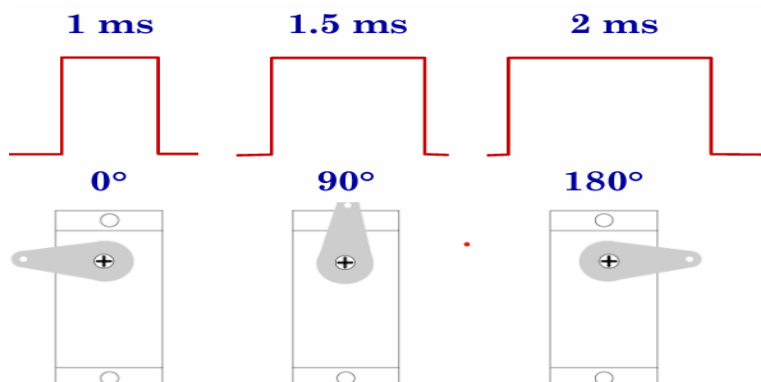


Figure II.13: Fonctionnement de srvo moteur SG90 .

II.11) - Module Joysticks à deux axes :

Un joystick est un périphérique d'entrée constitué d'un manche posé sur un socle et des bouton-poussoir sont également accessibles sur le manche ou le socle. L'utilisateur peut agir sur le périphérique soit en bougeant le manche dans une direction, soit en pressant les boutons

Le joystick est composé de deux potentiomètres ; un pour l'axe X et l'autre pour l'axe Y ainsi un bouton-poussoir.



Figure II.14 : Joystick a deux axes.

II.11.1) - Câblage de joystick :

Le joystick est alimenté avec 5v d'arduino et GND, VRx et VRy vers des entrées analogiques, le bouton-poussoir vers une entrée numérique.

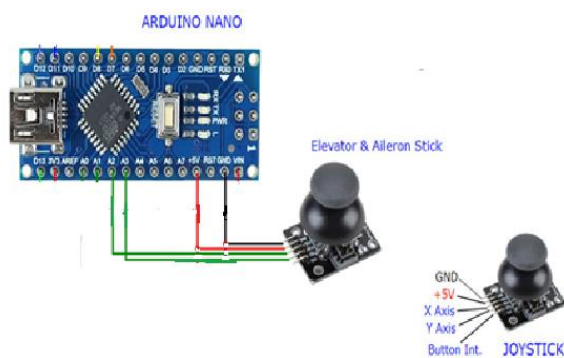


Figure II.15 : Câblage d'un joystick avec Arduino .

II.12) - Présentation du logiciel :

Le logiciel Arduino est un environnement de développement (IDE) open source (Windows, Linux ou Mac) fournit avec l'Arduino est un éditeur de texte qui permet [15] :

- De pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte Arduino.
- De se connecter avec la carte Arduino pour y transférer les programmes.
- De communiquer avec la carte Arduino.

La fenêtre de l'application Arduino comporte les éléments suivants :

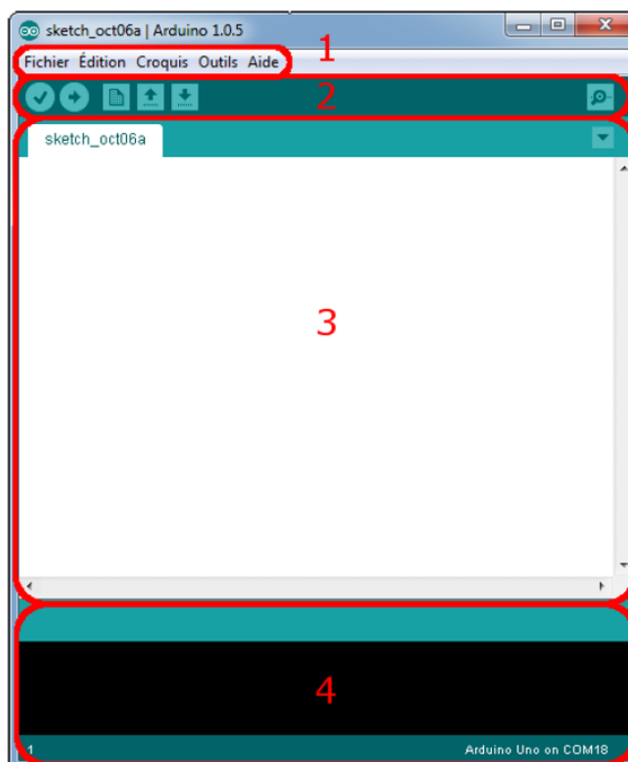


Figure II.16 : Eléments de logiciel Arduino .

1. Barre de Menu : elle contient les options de configuration du logiciel.

2. Barre des boutons : elle contient les boutons qui serviront lors de la programmation des cartes.

3. Fenêtre de programmation : ce bloc contient le programme créé.

4. Block d'affichage des messages de compilation : une console qui affiche les informations et erreurs de compilation et de téléversement du programme, celui-ci est important, car il aide à corriger les fautes présentes dans le programme. C'est le débogueur. La figure ci-dessous nous montre les différents boutons du logiciel [15].

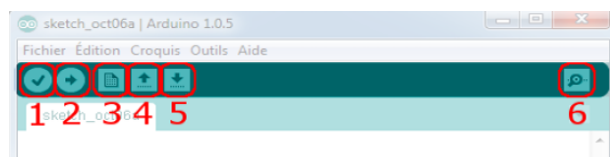


Figure II.17 : Barre des boutons du logiciel Arduino .

1. Bouton « Verify » (Vérifier) ; il permet de compiler votre programme et de vérifier si des erreurs s'y trouvent.

2. Charge (téléverse) le programme dans la carte Arduino .
3. Crée un nouveau fichier (sketch).
4. Ouvre un fichier.
5. Il permet de sauvegarder votre sketch.
6. Ouvre le moniteur série.

II.12.1) - Programmation sur Arduino :

Le langage Arduino est très proche du C et du C++. Dans le programme il y a plusieurs zones, qui ont chacune un rôle particulier.

- La première zone sert principalement à la déclaration d'informations propre au programme et les garder en mémoire, comme par exemple la déclaration des variables et des constantes.
- La zone secondaire sert à l'initialiser de certains paramètres du programme.
- La dernière zone est la zone principale où se déroule le programme. Tout ce qui va être écrit dans cette zone sera exécuté par la carte, ce sont les actions que la carte fera.

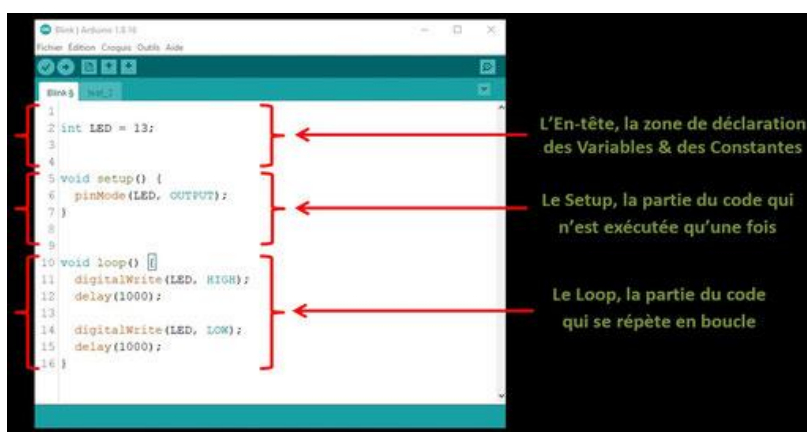


Figure II.18 : Structure de la programmation.

II.13) - Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les composants que nous allons utiliser dans notre travail en l'occurrence la carte d'acquisition qui est l'Arduino, l'émetteur et récepteur qui est le nrf24l01, les différents actionneurs ainsi que leurs caractéristiques. Le prochain chapitre sera dédié à la mise en œuvre de ce système de communication, où nous intégrerons ces composants pour créer une solution complète et opérationnelle.

Chapitre III :

Élaboration du système de
transmission

III.1) – Préambule :

Après avoir introduit la transmission de données et les outils du projet dans les chapitres précédents, dans ce chapitre nous allons aborder la mise en œuvre du système de transmission que nous allons réaliser sur un prototype avionique. Dans les parties suivantes nous allons détailler les différentes étapes de l'élaboration du système ainsi que les tests effectués sur celui-ci.

III.2) - Prototype de l'avion :

Le prototype du modèle avionique que nous avons établi est composé d'un châssis avec les différents périphériques tels que le fuselage, les ailes et les stabilisateurs horizontal et vertical dont le matériau est à base du polystyrène. La figure ci-dessous présente son aspect extérieur.



Figure III.1 : Prototype avionique.

III.3) - Mise en œuvre du système de transmission (émetteur / récepteur) :

Le système de transmission est composé de deux parties : partie émetteur et partie récepteur dont le schéma synoptique de communication est représenté par la figure suivante :

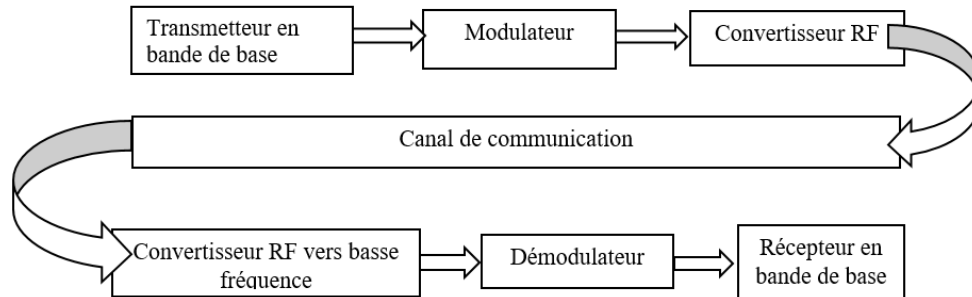


Figure III.2 : Schéma synoptique du système de communication.

III.3.1) - Transmetteur en bande de base :

Il génère le signal d'origine (comme la voix, les données ou la vidéo) avant toute modulation. Ce rôle est rempli par la carte Arduino Nano avec les joysticks connectés qui génèrent les signaux de commande nécessaires pour contrôler les servomoteurs et le moteur brushless.

III.3.2) - Modulateur :

Il convertit le signal de bande de base en un signal modulé, prêt pour la transmission. Il ajuste les caractéristiques du signal (comme l'amplitude, la fréquence ou la phase) en fonction des informations à transmettre. Le composant responsable de cette conversion et de ces ajustements est le module NRF24L01, agissant comme émetteur pour transmettre les données de commande sans fil vers le récepteur.

III.3.3) - Convertisseur RF :

Le convertisseur RF, représenté par le module NRF24L01 transforme le signal modulé en un signal de radiofréquence (RF), adapté aux fréquences utilisées pour la transmission sans fil.

III.3.4) - Canal de communication :

Le canal de communication est le médium à travers lequel le signal RF se propage. Ce rôle est rempli par l'air, qui agit comme le principal moyen de transmission pour les signaux RF entre les modules NRF24L01 de l'émetteur et du récepteur.

III.3.5) - Convertisseur RF vers basse fréquence :

Le convertisseur RF vers basse fréquence reconvertit le signal RF reçu en un signal à une fréquence plus basse, plus facile à traiter. Le module NRF24L01 du récepteur joue ce rôle en prenant le signal RF et le convertissant en données numériques compréhensibles par l'Arduino Nano récepteur. Cela permet à l'Arduino Nano récepteur de traiter les données de commande et de contrôler efficacement les servomoteurs et le moteur brushless.

III.3.6) - Démodulateur :

Le démodulateur récupère le signal de bande de base à partir du signal modulé reçu, en annulant le processus de modulation. Le module NRF24L01 du récepteur joue ce rôle en démodulant le signal RF reçu, permettant ainsi de récupérer les données de commande originales. Cela facilite le contrôle des servomoteurs et du moteur brushless par l'Arduino Nano récepteur dans votre système.

III.3.7) - Récepteur en bande de base :

Le récepteur en bande de base traite le signal de bande de base pour le rendre utilisable. La carte Arduino Nano (récepteur) utilise les données de commande démodulées pour contrôler directement les servomoteurs et le moteur brushless de l'avion. Ainsi, l'Arduino Nano récepteur assure le contrôle précis des composants nécessaires au vol de l'avion radiocommandé.

III.4) - Système de l'émission et de la réception :

La commande à distance permet de contrôler l'avion en temps réel. Elle est constituée d'un émetteur et d'un récepteur qui permet à l'un de manipuler l'autre à distance par des ondes radios.

III.4.1) - Emetteur :

La première partie est utilisé pour assurer l'émission des données et commander l'avion à distance. La figure III. 3 illustre le schéma synoptique du système de l'émission :

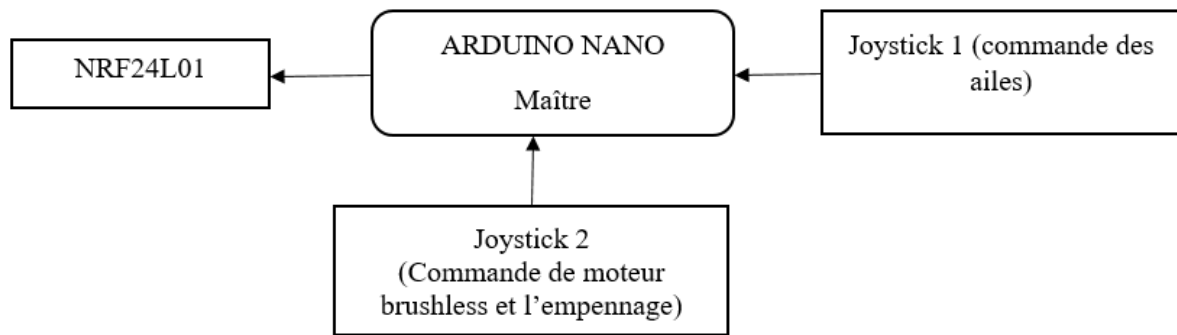


Figure III.3 : Schéma synoptique du système de l'émission.

La partie émission est la section de commande de notre avion, utilisant une carte Arduino Nano pour l'acquisition et la transmission des données. La carte Arduino Nano, considérée comme un maître, intègre le module NRF24L01 pour la transmission sans fil, deux joysticks sont utilisés, le premier contrôle les servomoteurs des ailes gauche et droite, tandis que le second contrôle le moteur brushless et l'empennage de l'avion. L'alimentation est fournie par une batterie de 3,7 V.

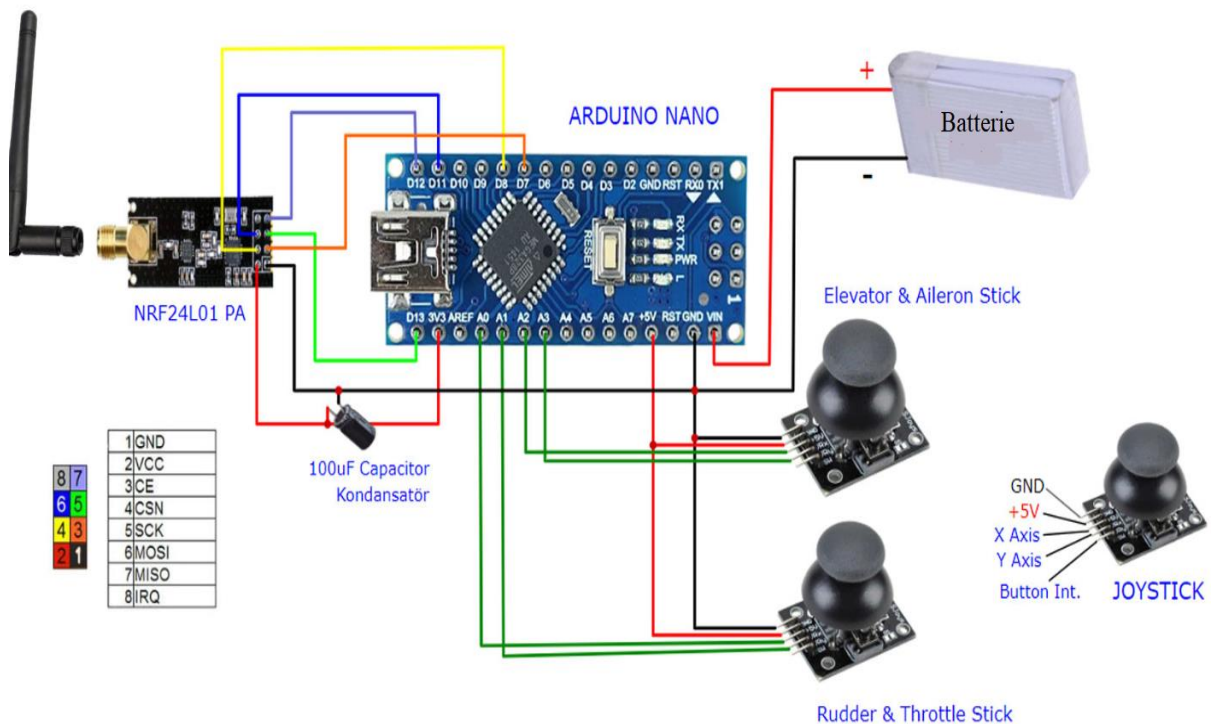


Figure III.4 : Schéma de câblage du système d'émission sur le logiciel Fritzing.

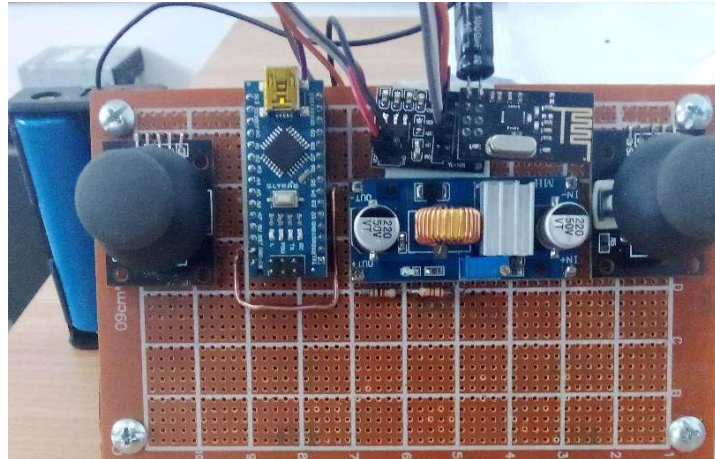


Figure III.5 : Réalisation pratique de l'émetteur .

III.4.2) - Récepteur :

La deuxième partie assure la réception des informations de commande afin de faire fonctionner les actionneurs. La figure III.6 illustre le schéma synoptique du système de la réception :

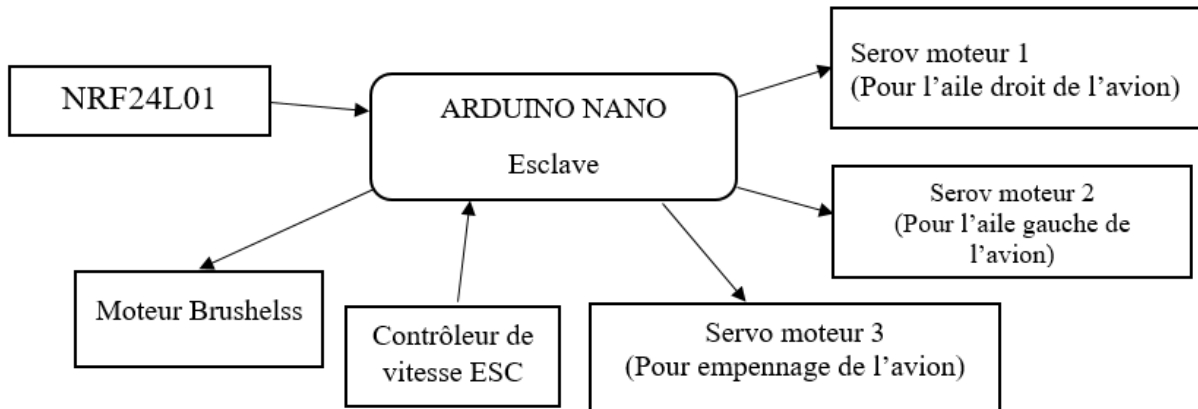


Figure III.6 : Schéma synoptique du système de récepteur.

La partie réception a pour fonction de recevoir les signaux de commande de l'émetteur via une carte arduino nano configurée en esclave qui est connectée au NRF24L01.

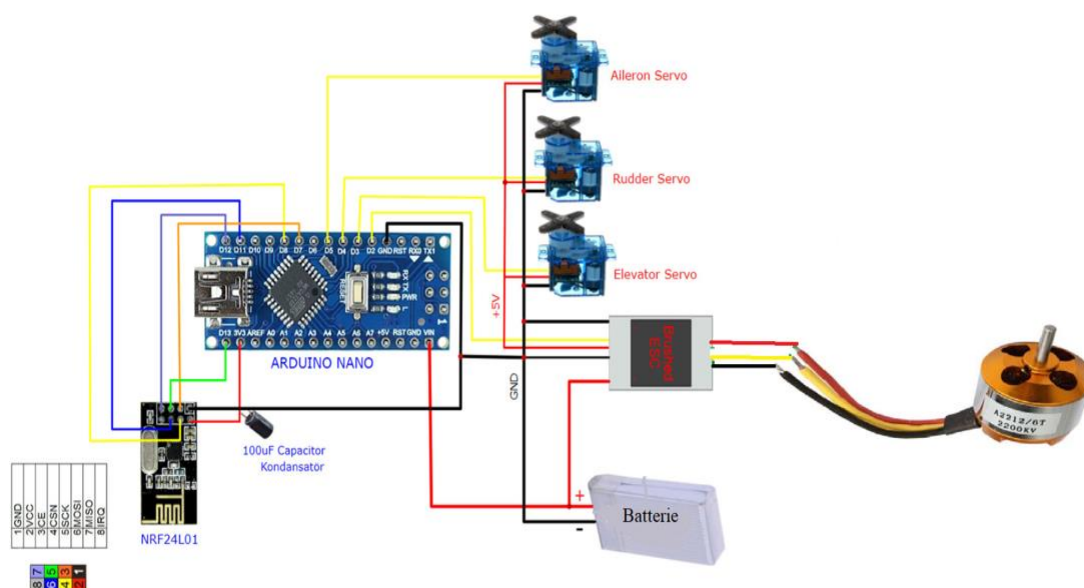


Figure III.7 : Schéma électronique de câblage du système de réception sur le logiciel Fritzing.

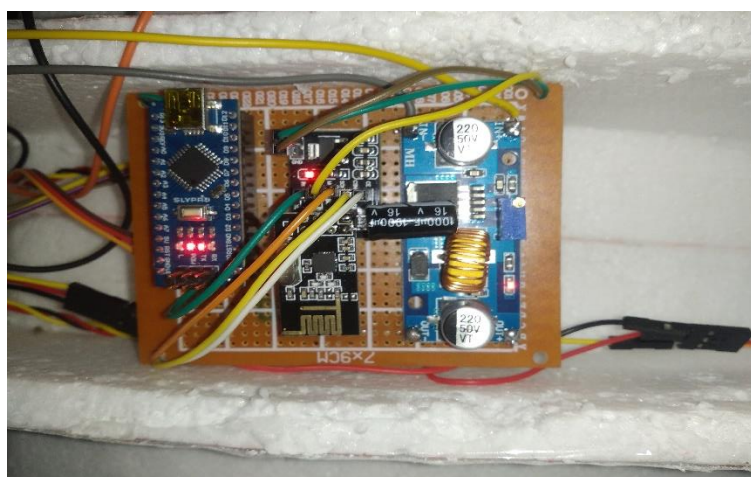


Figure III.8 : Réalisation pratique de la réception.

III.5) - Configuration maître esclave :

La configuration maître-esclave utilise deux cartes Arduino Nano et le protocole SPI pour assurer la communication entre l'émetteur (maître) et le récepteur (esclave). Le maître, équipé de deux joysticks, acquiert les données de commande et les transmet via le module NRF24L01. L'esclave reçoit ces commandes par le même module et les utilise pour contrôler trois

servomoteurs (empennage, aile gauche, aile droite) et un moteur brushless via un contrôleur ESC pour la poussée.

Cette configuration se fait en configurant les broches SPI sur les deux Arduino. Le maître configure MOSI, SCK, et SS comme sorties, et MISO comme entrée. L'esclave configure MISO comme sortie, et MOSI, SCK, et SS comme entrées.

Ce schéma représente la configuration des lignes de communication SPI (Serial Peripheral Interface) entre un Arduino maître et un Arduino esclave :

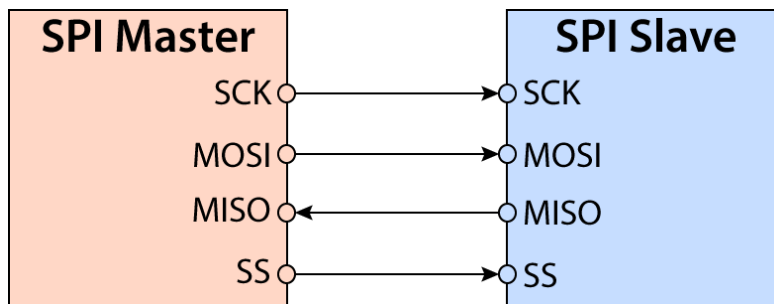


Figure III.9 : Schéma simplifié de la configuration SPI Maître /Esclave.

Les informations de commande reçues par l'Arduino Nano esclave sont décodées et utilisées pour ajuster les positions des servomoteurs et contrôler la vitesse du moteur brushless. Cette configuration permet une communication rapide et fiable, assurant un contrôle précis et réactif des composants de l'avion.

III.6) - Programmation des cartes Arduino :

La partie logicielle est développée sur la base de l'organigramme des figures III.10 et III.11. Le programme est composé de plusieurs parties dont chacune est destinée à remplir une tâche spécifique.

La première partie consiste à l'importation des bibliothèques et la déclaration des variables. La deuxième partie concerne la configuration des broches des cartes Arduino.

Enfin la dernière partie représente la partie principale qui s'exécute en boucle et décrit le fonctionnement du système de transmission de données. L'organigramme de la figure III.10 représente les différentes étapes de fonctionnement de l'émetteur tandis que la figure III.11 représente les différentes étapes de fonctionnement du récepteur.

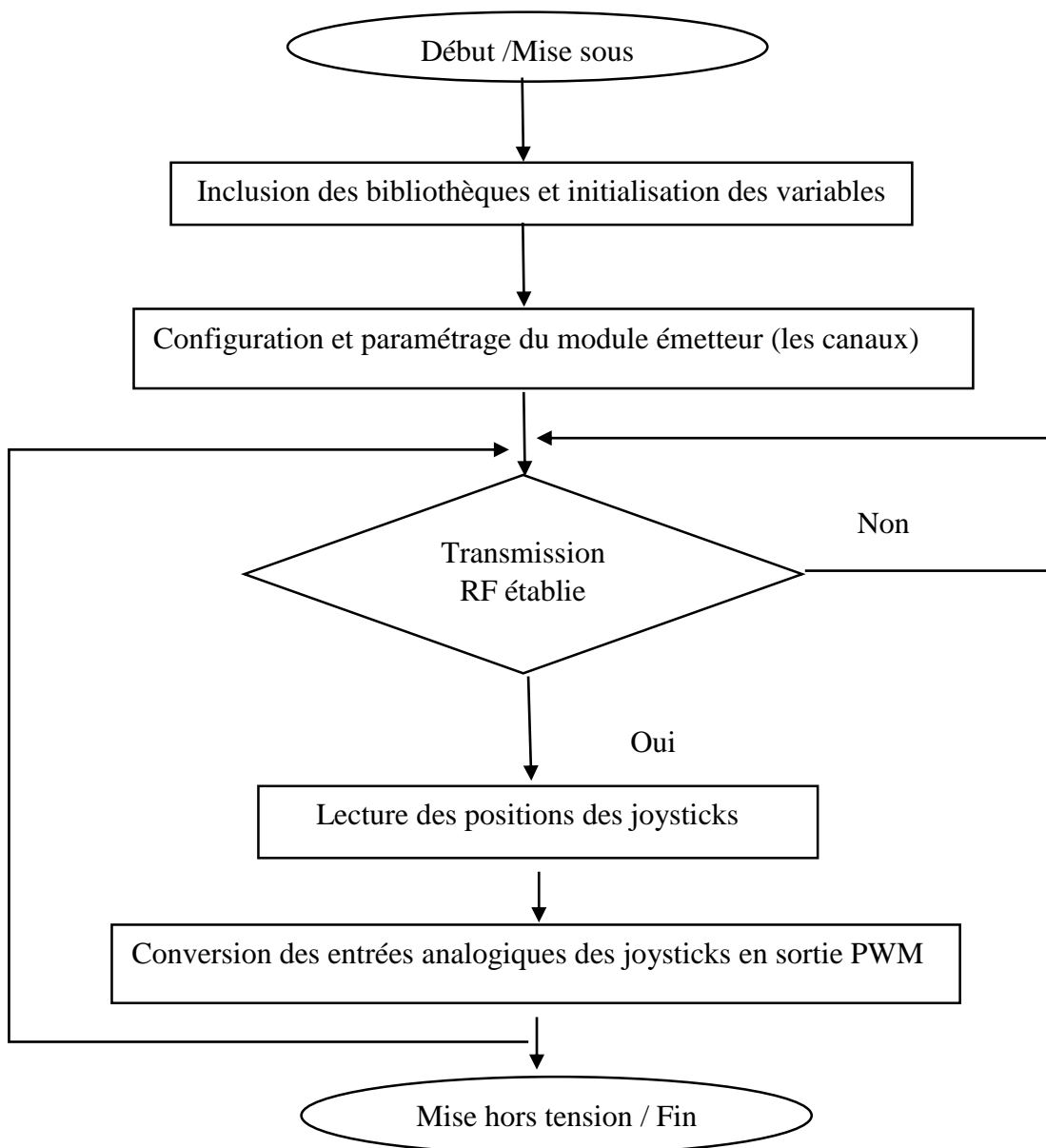


Figure III.10 : Organigramme fonctionnement du système de l'émission.

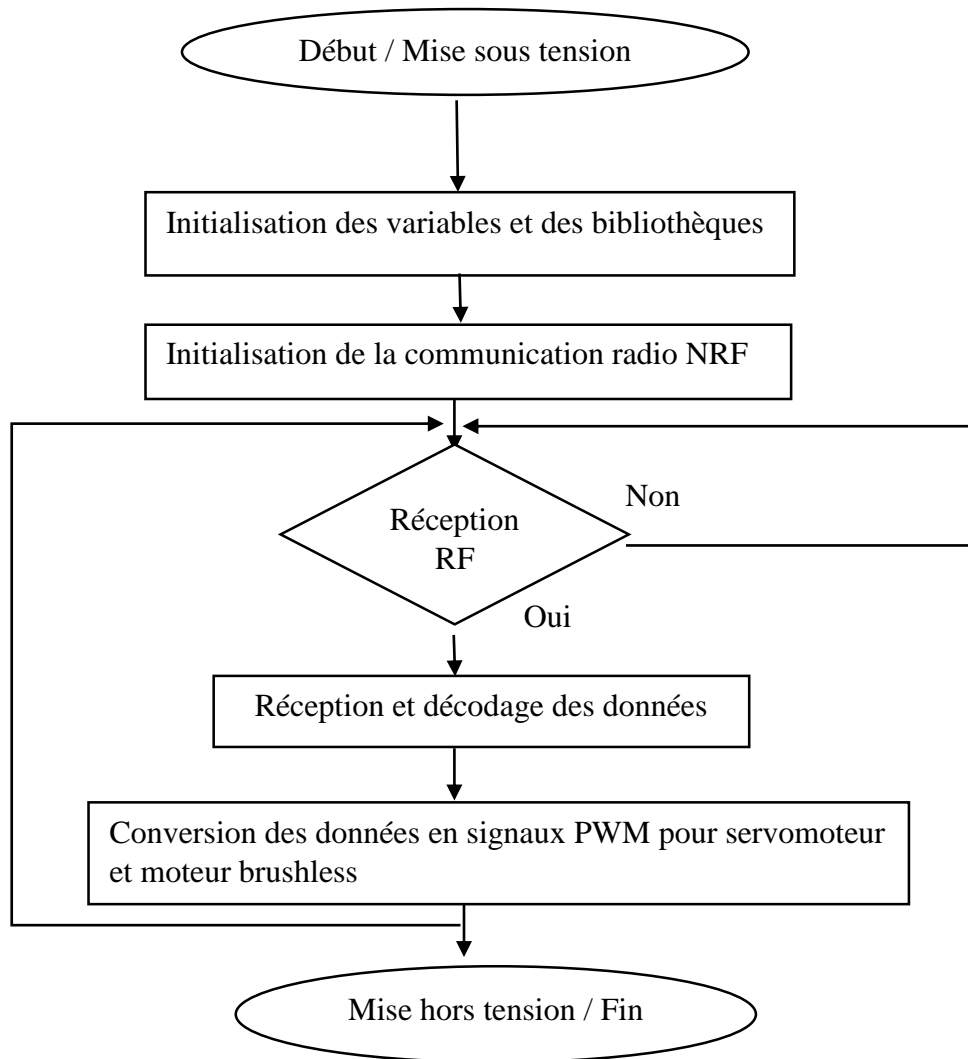


Figure III.11 : Organigramme fonctionnement du système de la réception.

III.7) - Tests et résultats :

Après avoir interconnecté les actionneurs et les autres composants aux cartes Arduino et terminé l'étape de programmation, nous avons effectué plusieurs tests sur toutes les parties du système. Ces tests visaient à vérifier que les données sont correctement transmises entre l'émetteur et le récepteur.

III.7.1) - Test du code Arduino avec le moniteur série :

Pour les tests, nous allons envoyer une lettre « Hello World » du côté de l'émetteur ensuite nous afficherons la lettre reçue du côté du récepteur pour vérifier le bon échange. La figure III.12 montre le résultat de la transmission.

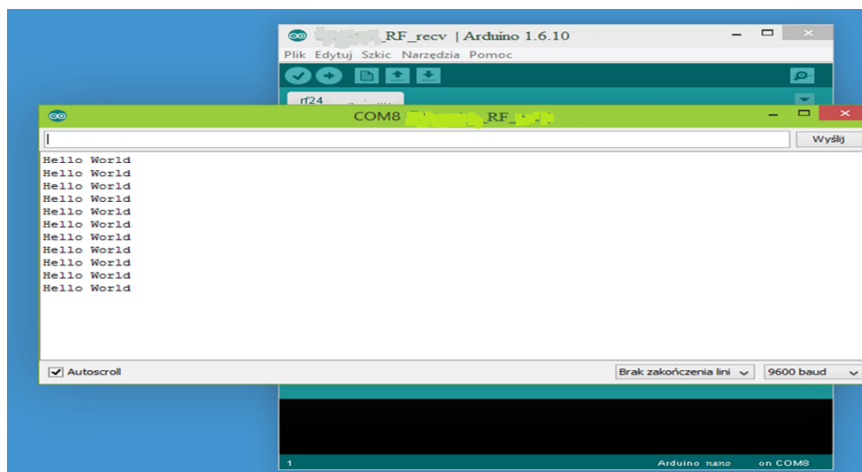


Figure III.12 : Affichage sur moniteur série.

III.7.2) - Test finale pour les composants :

Nous avons validé le bon fonctionnement des trois servomoteurs, chacun jouant un rôle spécifique pour ajuster les ailerons gauche et droit afin d'incliner l'avion vers la gauche ou la droite et le troisième servomoteur représente l'empennage, dont son rôle est d'assurer la stabilité de l'avion.



Figure III.13: Test pour les servomoteurs.

De plus, le moteur brushless a été testé pour fournir la poussée nécessaire à l'avion afin de le faire avancer dans les airs, tandis que le contrôleur ESC régule cette poussée en ajustant la vitesse du moteur. Cela permet un contrôle précis de la propulsion et de la vitesse de l'avion pendant le vol.

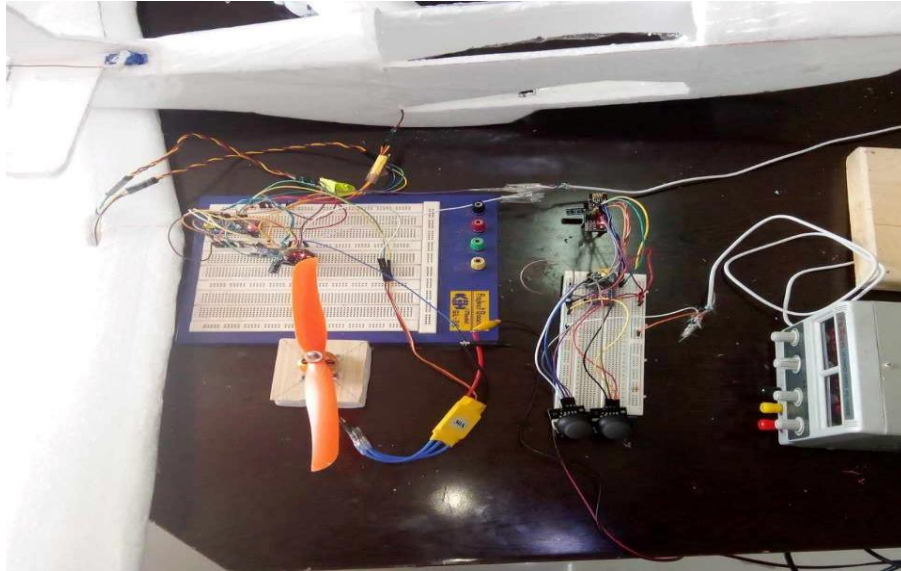


Figure III.14 : Test du moteur brushless avec contrôleur ESC.

III.8) Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons élaboré un prototype de système de transmission de données permettant de commander à distance un avion par des ondes radio. Ensuite, nous avons détaillé les différentes étapes de conception et de réalisation de ce système et effectué des tests sur celui-ci, les tests effectués montrent que le système fonctionne et la partie réception reçoit et exécute les commandes envoyées par la partie émission.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives :

Tout au long de ce mémoire, notre objectif était d'élaborer un système de transmission de données à base de liaison hertzienne. La partie émettrice est chargée d'envoyer les données, tandis que la partie réceptrice reçoit et exécute les commandes afin d'activer les actionneurs qui consistent à faire fonctionner le moteur brushless et les servomoteurs.

Au cours du développement, nous sommes concentrés sur la compréhension des caractéristiques et du fonctionnement de chaque composant, tels que la carte Arduino NANO, le module Nrf24L01 et l'ESC 30A et les actionneurs. Notre objectif était de les programmer de manière à garantir le bon fonctionnement global du système.

L'élaboration du système s'est déroulée en plusieurs étapes : conception, réalisation et programmation. Après cette phase, nous avons effectué plusieurs tests pour évaluer la performance et la fiabilité de ce prototype de communication.

Les résultats des tests ont confirmé que le système fonctionne convenablement : la partie réceptrice reçoit et exécute avec succès les commandes envoyées par la partie émettrice.

Comme perspectives de ce travail, des extensions peuvent être envisagées telles que :

- La mise en pratique du système à l'échelle réelle et l'exploitation du système afin de recueillir les données récoltées au cours du vol peut être réalisée.
- L'intégration d'une caméra embarquée afin de surveiller en temps réel le déroulement des conditions de vol peut être aussi considérée.

Ce projet nous a été d'une expérience très fructueuse et bénéfique qui nous a permis de nous imprégner dans le monde pratique de la transmission de donnée sans fils.

Enfin, nous souhaitons que ce modeste travail sera un modèle enrichi par les promotions à venir.

Références

Bibliographique

Bibliographie

[1] <https://www.scribd.com/document/587716418/Support-de-Cours-Reseau-Fst-Chp4>

Accédé 2024/04/01

[2] <https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/imagerie-medicale-radiographie>

accédé 2024/04/05

[3] <https://web.maths.unsw.edu.au/~lafaye/CCM/transmission/transmode.htm>

Accédé 2024/04/05

[4] <https://www.slideshare.net/slideshow/les-techniques-de-transmission-dans-les-rseaux-informatiquesosi/266505222> accédé 2024/04/07

[5] <file:///C:/Users/Big%20Computer/Desktop/Liaison-hertzienne-1.pdf> accédé

Accédé 2024/04/10

[6] <https://slideplayer.fr/slide/11884622/> accédé 2024/04/10

[7] http://aluttrin.free.fr/Lycee/Contenu%20lycee/sp%E9cialit%E9/Corrections/Ph_3.2_Modulation/Ph_3.2_modulation_amplitude_prof.htm accédé 2024/04/22

[8] <https://si.blaisepascal.fr/1t-modulation-et-demodulation-de-signaux/> accédé 2024/04/23

[9] <https://arduinofactory.fr/arduino-nano/> accédé 2024/05/10

[10] BENKAILA Chiraz et GHALI Amina, Réseaux de capteur sans fil pour la détection des feux de forêts, mémoire de master de fin d'études université SAAD DAHLAB de BLIDA , 2021.

[11] ATMANI Nabila, CHEBEUR Chaïm, contrôle d'un banc d'essai pour un moteur brushless, mémoire de master de fin d'études. Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2016.

[12] BENHAMOU Oumel kheir BOUDEBZA Badra, Intitulé du sujet Réalisation d'un drone Quad-copter mémoire de master de fin d'études. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.

[13] Amrani Mohamed ,Ounissi Nasreddine ,Etude et réalisation d'un drone quadri rotor, mémoire de master de fin d'études . Université 8 Mai 1945 – Guelma ,2020 .

[14] KETREB Issad , LAKBAL Ali , Conception et réalisation d'un système de sécurité pour une maison à base de communication Arduino GSM , mémoire de master de fin d'études .Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou , 2019.

[15] CHEMOUNE Mourad, Commande en position d'un bras manipulateur à trois degrés de liberté avec une carte Arduino mémoire de master de fin d'études. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2018.

[16] BenHabouche Amazigh . Amazit AbdEl-Ilah Conception et réalisation d'un avion radiocommande .Mémoire de master de fin d'études. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,2018 .

Les sites des figures

Figure I.2 : Propagation des ondes électromagnétiques

<https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/imagerie-medicale-radiographie-principe.xml>

Figure I.6 : Transmisssion parallèle

<https://web.maths.unsw.edu.au/~lafaye/CCM/transmission/transmode.htm>

Figure I.7 : Transmisssion série.

<https://web.maths.unsw.edu.au/~lafaye/CCM/transmission/transmode.htm>

Figure I.8 : Transmission synchrone.

<https://www.guill.net/view.php?cat=2&nos=3>

Figure I.9 : Transmission asynchrone.

<http://jmainy.free.fr/guill.web-/Transmission.html>

Figure I.11: Chaîne de transmission numérique.

https://www.researchgate.net/figure/Chaîne-de-transmission-numerique_fig1_321823045

Figure I.12 : Modulation d'amplitude (AM)

<https://ribiere.regit.org/modulation.pdf>

Figure I.13 : Modulation de fréquence (FM)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Modulation_de_fr%C3%A9quence

Figure I.14 : Modulation de phase (PM)

<https://www.javatpoint.com/angle-modulation>

FigureII.1 : Carte arduino Nano.

<https://alltron.ch/fr/product/495244>

Figure II.2 : Diagramme des broches de l'Arduino Nano.

<https://www.dzduino.com/Blog%20Dzduino/Arduino-nano>

Figure II.3 : Module NRF24 .

<https://www.aranacorp.com/fr/utilisation-dun-radio-module-nrf24l01-avec-arduino/>

Figure II.4 : Brochage NRF24L01.

<https://forum.arduino.cc/t/nrf24l01-not-working/1182021>

Figure II.8 : Alimentation électrique.

https://fr.made-in-china.com/co_nacon/product_High-Capacity-26650-4500mAh-3-7V-Rechargeable-Lithium-Ion-Battery_rnieosog.html

Figure II.10 : Servomoteurs.

<https://digitalinit.be/le-servomoteur/>

Figure II.13 : Joystick

<https://www.ouedkniss.com/components-electronic-material-module-joystick-2-axes-pour-arduino-blida-algeria-d14714654?lang=en>

Figure II.14 : Câblage d'un joystick avec Arduino .

https://ozeki.hu/p_3012-how-to-setup-a-joystick-on-arduino-nano.html

Figure II.17: Structure de la programmation.

<https://ardwinner.jimdofree.com/arduino/ia-arduino-ide/3-structure-d-un-programme/>