

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
Filière : Electronique
Spécialité : Instrumentation
Thème

Exploitation de la clé RTL-SDR pour l'analyse des signaux AM, FM et ASK

Présenté Par :

- 1) HAMMANI Asmaa
- 2) ZIANI Fatima

Devant le jury composé de :

Mr. BENZAZZA Baghdadi	MAA	C.U.B.B (Ain Témouchent)	Président
Mr. BENAISA Mohamed	MCA	C.U.B.B (Ain Témouchent)	
Mr. YAGOUB Réda	Docteur	C.U.B.B (Ain Témouchent)	
Mr. MECIRDI Nour-Eddine	MAA	C.U.B.B (Ain Témouchent)	Examineur

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Je tiens à remercier ALLAH le miséricordieux, de tout mon cœur, de m'avoir offert le pouvoir, la volonté et la bénédiction pour accomplir et achever ce simple travail.

Je tiens à remercier Mr. BENAÏSSA Mohamed l'encadrant et Mr YAGOUB Réda le co-encadrant qui avaient accepté de nous encadrer et qui étaient disponibles pour nous guider pendant l'accomplissement de ce travail.

Je tiens également à remercier Monsieur BENAZZA Baghdadi qui m'a fait l'honneur de présider le jury et Monsieur MECIRDI Nour-Eddine pour avoir accepté d'être l'examineur de mon travail.

Je remercie tout membre de ma famille, qui étaient toujours à mes côtés, leur encouragement, leur appui, pendant le long du travail.

Je remercie les enseignants et toute personne auxquels j'ai appris.

Dédicace

Je dédie ce travail à ma famille.

Asmaa

Fatima

Table des matières

Remerciement et dédicaces	
Tables des Matières	
Liste des figures	I
Liste des tableaux	I
Acronymes et abréviations	II
Acronymes et abréviations	III
Introduction générale	1
CHAPITRE I : Technologie des radios logicielles	2
I.1 Introduction	3
I.2 Historique de la Radio Logicielle (RL)	3
I.3 Technologie des réseaux sans fil	3
I.3.1 Définition des réseaux sans fil	3
I.3.2 Les catégories des réseaux sans fils	4
I.4 Principaux éléments d'une radio logicielle	5
I.5 Perspectives d'évolution et classification par catégories de la radio logicielle	5
I.6 Le principe de base de la radio logicielle	7
I.7 Architecture d'un émetteur-récepteur classique	8
I.8 Transmission et communication à haute fréquence	9
I.9 Etapes de traitement d'un démonstrateur radio HF à haut débit	9
I.10 Architecture d'un émetteur-récepteur HF à haut débit	10
I.10.1 Récepteur superhétérodyne	10
I.10.2 Emetteur superhétérodyne	11
I.11 Principaux types de la radio logicielle	12
I.11.1 La radio logicielle restreinte	12
I.11.2 La radio logicielle idéale	13
I.11.3 La radio logicielle intelligente (cognitive)	13
I.12 Les caractéristiques de la radio logicielle	14
I.13 La Clé USB RTL-SDR (R820T SDR)	15
I.13.1 Définition	15
I.13.2 La composition générale et interne de la clé RTL-SDR	16
I.13.3 Exploitation et applications de la clé RTL-SDR	17

Table des matières

I.14 Conclusion	18
CHAPITRE II : Conception et implémentation des récepteurs SDR sous GNU RADIO ...	19
II.1 Introduction	20
II.2 Environnement GNU RADIO	20
II.3 Conception d'un Récepteur AM sous GNU RADIO	20
II.3.1 Principe de la modulation d'amplitude	21
II.3.2 Démodulation d'amplitude	23
II.3.3 Implémentation sous GNU RADIO	24
II.4 Conception d'un Récepteur FM sous GNU RADIO	24
II.4.1 Principe de la modulation de fréquence FM (Frequency Modulation)	25
II.4.2 Démodulation de fréquence	27
II.4.3 Implémentation sous GNU RADIO.....	28
II.5 Conception d'un Récepteur ASK sous GNU RADIO	29
II.5.1 Modulation par déplacement d'amplitude (ASK)	29
II.5.2 Démodulation ASK	30
II.5.3 Méthode d'émission d'un signal ASK	31
II.5.4 Installation de la bibliothèque RadioHead	32
II.5.5 Le code de génération et émission du signal ASK	33
II.5.6 Implémentation sous GNU RADIO	34
II.6 Conclusion	34
Conclusion générale	36
Bibliographie	37
Résumé	

Figure I.1 : Catégories de réseaux sans fil.....	4
Figure I.2 : Evolution de la radio matérielle à la radio logicielle	6
Figure 1.3 : Architecture classique d'un émetteur-récepteur	8
Figure 1.4 : Schéma bloc des différents étages de traitement de la radio HF à haut débit.....	10
Figure 1.5 : Schéma du récepteur superhétérodyne	11
Figure 1.6 : Schéma d'un émetteur superhétérodyne	11
Figure I.7 : Schéma d'un récepteur à conversion directe pour clé DVB T	12
Figure I.8 : Architecture d'une radio logicielle idéale	13
Figure 1.9 : Architecture de la radio cognitive	14
Figure 1.10 : La clé R820T utilisée dans notre projet de fin d'études	16
Figure 1.11 : Bande de fréquence du RTL SDR utilisée	16
Figure I.12 : Composants internes de la RTL-SDR	17
Figure II.1 : Récepteur AM sous GNU Radio	20
Figure II.2 Principe de modulation d'amplitude	23
Figure II.3 : Spectrogramme de fréquences AM sous GNU RADIO	24
Figure II.4 : Récepteur FM sous GNU Radio	24
Figure II.5 : Principe de la modulation de fréquence	26
Figure II.6 : Spectrogramme de fréquences FM sous GNU RADIO	28
Figure II.7 : Récepteur ASK sous GNU Radio	29
Figure II.8 : Principe de la modulation par déplacement d'amplitude ASK	31
Figure II.9 Câblage d'un émetteur de signal ASK	32
Figure II.10 : L'ajout de la bibliothèque RadioHead	33
Figure II.11 Spectrogramme de fréquences ASK sous GNU RADIO	34

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Classification des systèmes radio logicielle selon le Wireless Innovation Forum.....	6
---	---

ACARS : Aircraft Communication Addressing and Reporting System

ADS-B : Automatic Dependent Surveillance-Broadcast

AIS : Automatic Identification System

AM : Amplitude modulation

ASIC : Application-Specific Integrated Circuit

ASK : Amplitude-shift keying

AGC : Automatic Gain Control

BPSK : Binary phase-shift keying

CAN : Convertisseur analogique numérique

CNA : Convertisseur numérique analogique

CPU : Central Processing Unit

DMR : Digital Mobile Radio

DSP : Digital Signal Processor

DVB-T : Digital video broadcast–terrestrial

ESD : Electrostatic Discharge

FM : Frequency Modulation

FPGA : Field Programmable Gate Array

GPS : Global Positioning System

GSM : Global System for Mobile

GNU : Not Unix

HF : High frequency

IF : Intermediate frequency

LSB/ USB : Lower sideband / upper sideband

MAC : Media Access Control

PC : Personal Computer

QPSK : Quadrature Phase-Shift Keying

RF : Radio frequency

RL : Radio Logiciel

SDR : Software-Defined Radio

SSB : Single-sideband modulation

TV : Television

UIT : Union Internationale des Télécommunications

USRP : Universal Software Radio Peripheral

USB : Universal Serial Bus

UHF-VHF : Ultra High Frequency / Very High Frequency

UHF/DTV : Ultra High Frequency / digital television

VLF : Very Low Frequency

WIF : Wireless Innovation Forum

WI-FI : Wireless fidelity

WLAN : Wireless local-area network

WMAN : Wireless Metropolitan Area Network

WPAN : Wireless Personal Area Network

Avec la croissance exponentielle des possibilités actuelles de communication sans fil - WLAN (réseau local sans fil), Bluetooth pour la transmission vocale et la transmission de données dans le milieu personnel, Zig-Bee pour les réseaux de capteurs et de commande ou Ultra Wide Band (UWB) pour connecter des appareils périphériques avec un débit de données élevé ou les réseaux de téléphonie cellulaires (DECT, 2G/3G), l'élargissement souple et rentable de normes de transmission nouvelles ou modifiées par de simples mises à niveau des logiciels, est devenu essentiel.

Et c'est dans le cadre de ce contexte que nous venons faire allusion à la technologie numérique qui ne cesse de s'épanouir et se développer.

La technologie numérique a connu un progrès en traitement numérique du signal et a ouvert la voie à une nouvelle approche d'implémentation de plateformes de communication sans fil, on parle alors des radios logicielles, dont la majeure partie du traitement du signal est réalisée au niveau logiciel plutôt qu'au niveau matériel, cette approche a donné naissance à « La technologie de la radio logicielle » dont l'objectif principal est de rendre possible la reconfiguration complète d'une interface radio. Ce n'est qu'aux environs de 1980 que la technologie numérique a fait une entrée significative dans les radiocommunications d'où les modules RF, modulateur et démodulateurs, filtre, mélangeur ont dans un premier temps été commandés puis entièrement réalisés en numérique.

Ce mémoire est composé de deux chapitres seulement; le premier décrit ce qu'est une radio logicielle, faire une approche sur la technologie des réseaux sans fil, la naissance et l'évolution de la radio logicielle, son architecture interne, principaux composants et quelques applications. Le deuxième chapitre rassemble la théorie de quelque types de signaux en télécommunications que la clé RTL-SDR peut détecter et les rendre compatible à son système de traitement de données, ainsi que l'interprétation de ce qui est décrit dans la théorie en applications, en exploitant la clé SDR-RTL pour capter et traiter trois types de signaux radiofréquences.

Chapitre I

Technologie des radios logicielles

I.1 Introduction

Jusqu'à très récemment, il était nécessaire d'utiliser un matériel dédié pour réaliser quelques tâches très spécialisées, c'est dans ce contexte que la radio s'est développée. Aujourd'hui, la puissance des calculateurs des ordinateurs permet de traiter une large quantité de données ; plusieurs millions par secondes et donc de traiter les signaux radio efficacement. Si le traitement du signal dont la modulation et la démodulation peut être aujourd'hui déporté sur un ordinateur, la fonctionnalité de réception ou d'émission nécessite toujours un matériel dédié. Il existe plusieurs définitions pour le terme « radio-logicielle » ou SDR « Software Defined Radio », on décrira dans ce chapitre, quelques types les plus reconnus récemment ainsi que l'architecture et le fonctionnement de base d'une RTL-SDR.[6]

I.2 Historique de la Radio Logicielle (RL)

Dans les années 70, un projet militaire SPEAK easy initialisé afin de pallier aux problèmes d'incompatibilités entre les moyens de communication des différentes branches de l'armée américaine (Numérisation de la bande VLF stations de base et des terminaux). Une idée survenue aux esprits, consiste à développer le système radio universel multi-service, multi-standard, multibande, reconfigurable et reprogrammable pour tenir compte de l'évolution des normes et des applications visés. Finalement en 1994, une démonstration fût faite qui révéla la réussite du projet. Le problème était l'encombrement de l'équipement puisque celui-ci occupait tout l'arrière d'un camion et sa complexité de conception (il intégrait plusieurs centaines de processeurs). Il a été conçu pour être un système multi-bandes dans une gamme de 2 à 400 MHz. Le consultant scientifique américain Joseph MITOLA qui a travaillé en tant que « Program Manager » pour la défense américaine, lança l'idée d'appliquer ces découvertes au civil et s'est finalement spécialisé sur le SDR et la Radio Cognitive [7].

I.3 Technologie des réseaux sans fil

I.3.1 Définition des réseaux sans fil

Ce sont des réseaux dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaisons filaires. Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radio-électriques (radio et infrarouges).

Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et d'autre part par la portée des transmissions. Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus, l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

En contrepartie se pose le problème de la réglementation relative aux transmissions radio-électriques. En effet, les transmissions radio-électriques servent pour un grand nombre d'applications (militaires, scientifiques, amateurs, ...), mais sont sensibles aux interférences, c'est la raison pour laquelle une réglementation est nécessaire dans chaque pays afin de définir les plages de fréquence et les puissances auxquelles il est possible d'émettre pour chaque catégorie d'utilisation.

De plus, les ondes hertziennes sont difficiles à confiner dans une surface géographique restreinte, il est donc facile pour un pirate d'écouter le réseau si les informations circulent en clair. Il est donc nécessaire de mettre en place les dispositions nécessaires de telle manière à assurer une confidentialité des données circulant sur les réseaux sans fil [10].

I.3.2 Les catégories des réseaux sans fils

Ils existent plusieurs catégories de réseaux sans fil, selon le périmètre géographique offrant une connectivité (zone de couverture), voir la Figure I.1.



Figure I.1 : Catégories des réseaux sans fil [10]

I.4 Principaux éléments d'une radio logicielle

La radio logicielle est un outil permettant de réceptionner ou d'émettre un signal qui sera par la suite traité par logiciel. Les éléments nécessaires pour faire la SDR sont [6]:

- Une antenne avec des capacités en réception et/ou transmission.
- Un Convertisseur Analogique/Numérique (CAN) et/ou Convertisseur Numérique/Analogique (CNA). Il constitue l'interface entre le domaine électromagnétique et numérique.

Dans certains cas, l'antenne peut embarquer des filtres et amplificateurs pour faciliter le travail du logiciel.

I.5 Perspectives d'évolution et classification par catégories de la radio logicielle

Il existe différentes architectures intermédiaires, de la radio dite matérielle à la radio intelligente. Le niveau d'intégration des fonctions numériques résulte de l'augmentation des performances des composants utilisés pour ces traitements. Du DSP au FPGA ou par l'utilisation de cartes multiprocesseurs, la capacité de traitement temps réel a fortement progressé. Il est ainsi possible d'ajouter à l'équipement les capacités liées à la prise de décisions sur des modifications des paramètres de la couche physique en fonction de capteurs externes (bruit électromagnétique, surcharge de la bande de fréquence utilisée...) Figure I.2. Ces différentes évolutions ainsi que la multiplication des capacités des terminaux se traduisent par une classification de ces systèmes, voir la figure I.2.

Le tableau I.1 représente la classification des systèmes radio logicielle selon le Wireless Innovation Forum [2]

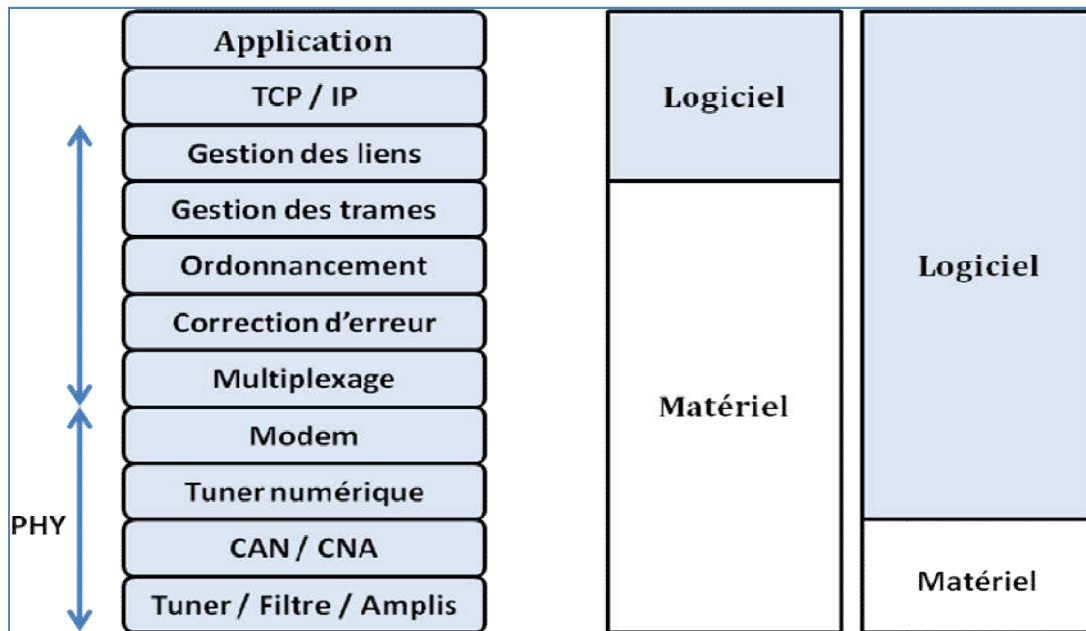


Figure I.2 : Evolution de la radio matérielle à la radio logicielle [2]

Catégorie	Dénomination	Degré de reconfiguration
0	Radio matérielle	Reconfiguration par échange de composants.
1	Radio contrôlé par logiciel	Reconfiguration limité à un jeu prédéfini de paramètres (niveau de puissance, interconnexions)
2	Radio définie par logicielle	Reconfiguration par logiciel des formes d'ondes, fréquence, bande passante, modulation et démodulation, détection du signal paramètres de sécurité ..
3	Radio logicielle idéale	Conversion analogique au niveau de l'antenne, du haut parleur et du microphone : tout le reste est logiciel.
4	Radio logicielle ultime	Comprend tout type de trafic et d'informations de contrôle, et supporte la plupart des applications et circuits d'antenne.

Tableau I.1 : Classification des systèmes radio logicielle selon le WIF [2]

Les plates-formes et bancs d'essai de radios logicielles "libres" offrent aux chercheurs et développeurs la possibilité de concevoir leurs propres applications radios logicielles. Au vu de la complexité croissante des systèmes à concevoir, une plate-forme de prototypage est choisie en fonction de critères multiples : flexibilité, rapidité de calcul, communications entre composants et présence d'interfaces externes.

Bien que la radio logicielle restreinte offre de multiples avantages aux concepteurs de systèmes radio, il reste de nombreuses questions ouvertes sur la façon de mettre en œuvre et de gérer la flexibilité dans un système de transmission sans fil. La liste des radios logicielles réalisées, en développement ou à l'état de prototype est très étendue [2].

I.6 Le principe de base de la radio logicielle

Sur le trajet de réception, le CAN transforme en signaux numériques des signaux analogiques à proximité de l'antenne et, inversement, un CNA traite les signaux côté émission. Entre l'antenne et le CAN, respectivement CNA, des amplificateurs et des filtres suffisent.

La plate-forme SDR permet d'émettre et de recevoir simultanément sur deux canaux individuels séparés, ce qui constitue la base des systèmes Smart Antenna, qui permettent de modifier de manière électronique le diagramme de rayonnement des antennes. [5]

La largeur de bande du signal, d'environ 60 MHz, permet de traiter non seulement certains canaux de fréquence, mais la bande toute entière de la plupart des standards radios. La structure est conçue de façon modulaire, ce qui permet d'élargir la plage de fréquence vers le haut, jusqu'à plusieurs gigahertz, avec des cartes HF (haute Fréquence) optionnels, enfichables. En interprétant judicieusement la partie HF, le système est utilisable pour une large plage de niveau d'entrée. En fonction de la fréquence du signal, il est également possible de travailler avec un sous échantillonnage côté récepteur.

Les oscillateurs sont synchronisés avec une grande précision par un moyen de référence GPS. La partie numérique a été réalisée avec des FPGA performants, des circuits intégrés de la technique numérique, dans lesquels la fonctionnalité d'un circuit logique est chargée.

On peut, dans le cadre des lois physiques, mettre en œuvre n'importe quelle norme radio ou n'importe quelle forme du signal grâce au principe basé sur un logiciel. La plate-forme, qui

présente d'excellentes caractéristiques de HF, est utilisée dans des systèmes radio professionnels [5].

I.7 Architecture d'un émetteur-récepteur classique

L'architecture classique d'un émetteur-récepteur est illustrée dans la figure I.3. Elle est constituée généralement de trois parties fondamentales qui sont :

- Une partie RF : en mode récepteur radio, son rôle consiste en l'acquisition des signaux analogiques (les radios fréquences) à partir de l'antenne. Cette partie réalise des traitements analogiques, comme par exemple le filtrage, l'échantillonnage ou le contrôle automatique de gain (AGC). La conversion des échantillons temporels collectés en un flux numérique pour un traitement en bande de base est réalisée par des CAN.
- Une partie de traitement en bande de base appelée souvent «baseband» : réalise principalement les traitements de modulation/démodulation et codage/décodage.
- La pile protocolaire de communication : c'est un ensemble de couches logicielles pour la gestion des communications (couche MAC et supérieures).

Dans un contexte de traitement en bande de base, la RL vise à remplacer le plus d'éléments de calcul matériels (ASIC) par du logiciel (DSP). L'idéal est d'avoir un processeur «baseband» unique qui réalise tout le traitement en bande de base en logiciel. Cependant, la puissance de calcul des processeurs actuels n'est pas en mesure de répondre aux contraintes temporelles des protocoles de couches physiques existants. Par conséquent, la réalisation de la radio logicielle nécessite aujourd'hui une combinaison d'éléments de calcul matériels et logiciels.

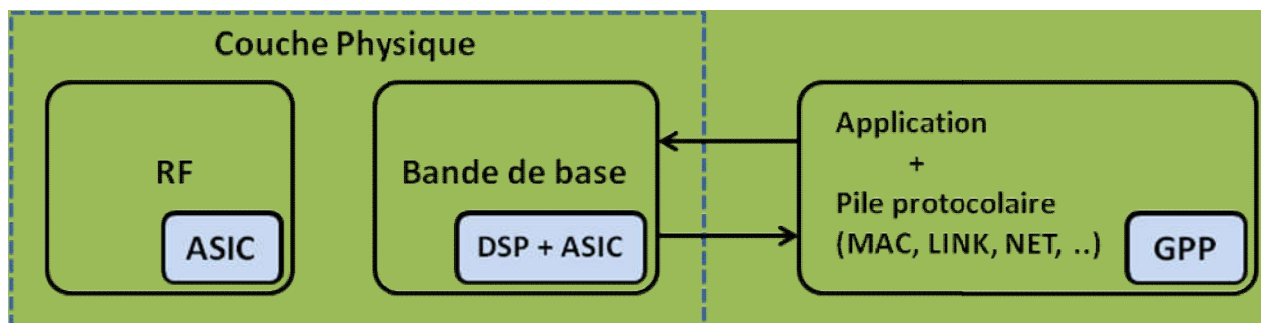


Figure I.3 : Architecture classique d'un émetteur-récepteur [1]

L'hétérogénéité des plateformes d'exécution, le défaut de standardisation ainsi que les contraintes temps réel des applications radios sont les facteurs principaux de complexité de la RL. Le développement d'une RL nécessite la connaissance des détails techniques de la plateforme d'exécution et le portage d'une application radio sur une autre plateforme revient à repasser par toutes les phases du cycle de développement [1].

I.8 Transmission et communication à haute fréquence

Les communications HF utilisent les fréquences comprises entre 1.5 et 30 MHz. Ce type d'ondes a la propriété de se propager par réflexion successive sur les couches ionisées de la haute atmosphère, et sur le sol. Cette particularité est mise à profit pour l'établissement de liaisons à très longues distance sans nécessiter le recours à un satellite. Les communications HF sont bien adaptées aux besoins des organisations militaires : les infrastructures sont légères et peu coûteuses. De plus, elles présentent l'avantage d'utiliser un canal de propagation omniprésent et quasiment indestructible.

Le problème des transmissions HF est lié principalement aux caractéristiques du canal de propagation mais également à la limitation de la largeur de bande allouée par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) qui limitent le débit actuel des liaisons à une valeur maximale de 9.6 Kbits/s pour 3 KHz de bande passante. Les applications requérant davantage de bande passante, telle que les applications multimédias nécessitent un accroissement des débits de plus que 64 Kbits/s. Pour répondre à ce besoin, Thales Communications Belgium a réalisé un démonstrateur radio HF à haut débit.

Ce démonstrateur radio HF utilise la technologie de la radio logicielle où certaines fonctions telles que le filtrage, le mélange et l'amplification sont réalisées par des composants analogiques, et d'autres fonctions telles que le traitement numérique du signal (sélection du canal, démodulation, modulation, décodage, etc.) sont programmables par logiciel [5].

I.9 Etapes de traitement d'un démonstrateur radio HF à haut débit

Le démonstrateur radio HF à haut débit est composé, comme le montre la figure I.4 de [5] :

- une section analogique qui assure le traitement analogique du signal. Elle est composée de filtres, mélangeurs, oscillateurs locaux, amplificateurs large bande et à faible bruit.

- une section numérique qui assure le traitement numérique du signal en bande de base pour extraire les informations utiles (sélection du canal, démodulation, décodage) ou pour les mettre en forme (modulation, codage).
- un étage de conversion qui convertit en réception les ondes radio-captées par l'antenne en équivalent numérique exploitable par la section numérique et convertit en émission une onde synthétisée par la section numérique en signal analogique.

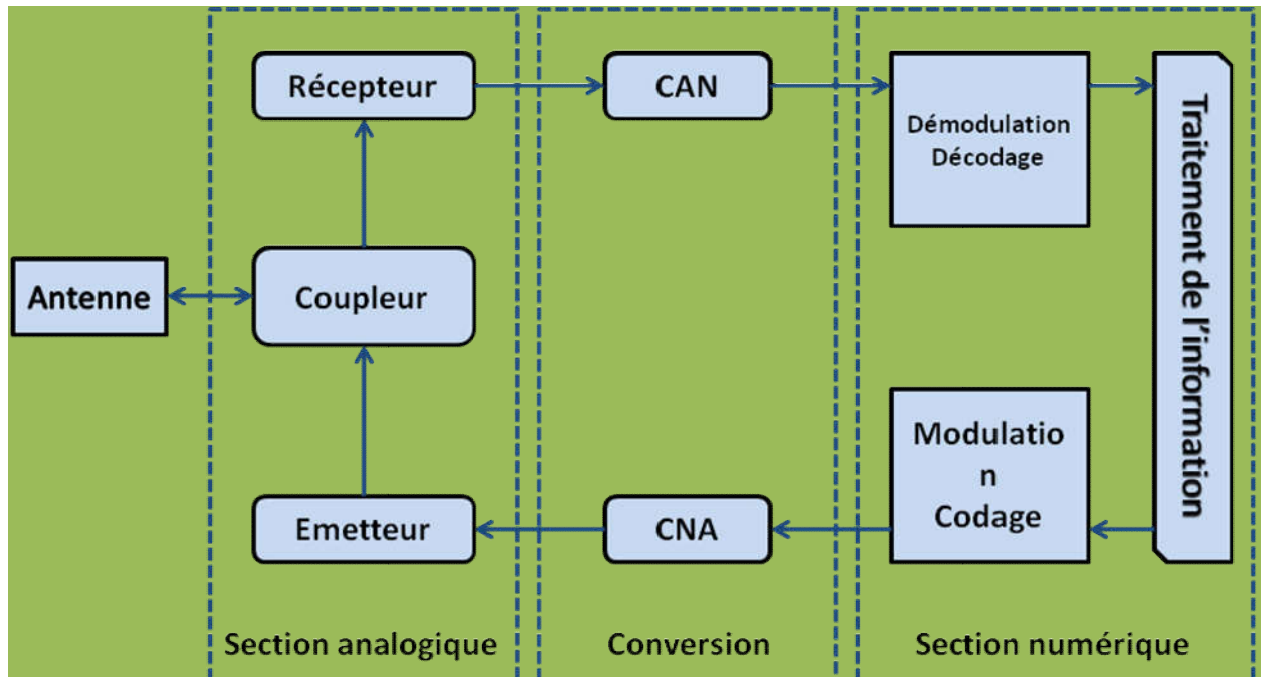


Figure I.4 : Schéma bloc des différents étages de traitement de la radio HF à haut débit

I.10 Architecture d'un émetteur-récepteur HF à haut débit

I.10.1 Récepteur superhétérodyne

Dans un récepteur superhétérodyne à fréquence intermédiaire (FI) analogique, le signal HF issu de l'antenne est filtré par le filtre de présélection dont le rôle est de laisser passer uniquement la plage des fréquences HF (de 1.5 à 30 MHz). Le signal est ensuite transposé vers une fréquence fixe FI (110 MHz) par l'intermédiaire d'un mélangeur et d'un oscillateur local programmable, verrouillé sur le canal à recevoir. Après la transposition, le signal FI passe à un étage d'amplification et de filtrage afin d'augmenter sa puissance et d'atténuer les brouilleurs en dehors de la bande du filtre. Finalement, le signal analogique obtenu est numérisé par un CAN. Les données numériques sont traitées par la CPU (Central Processing

Unit) pour extraire les informations désirées. Le schéma du récepteur superhétérodyne est donné sur la figure 1.5.

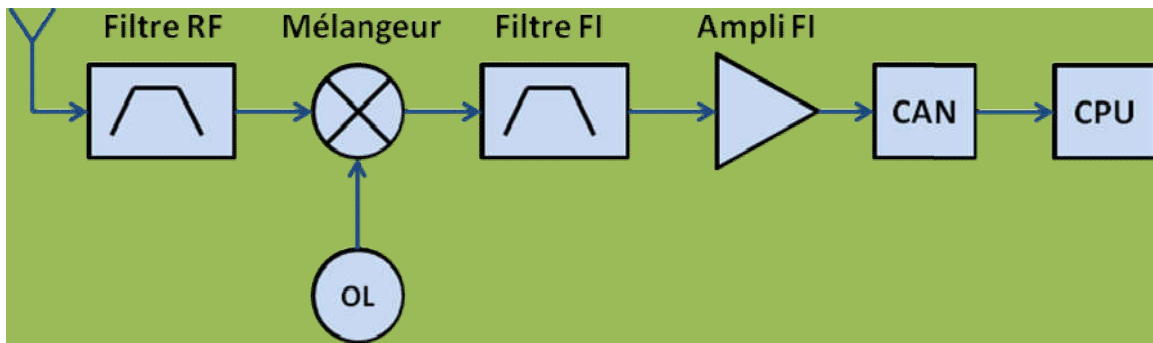


Figure I.5 : Schéma du récepteur superhétérodyne [5]

I.10.2 Emetteur superhétérodyne

La transmission d'un signal Radio Fréquence (RF) par l'émetteur HF à haut débit est réalisée par un émetteur superhétérodyne [7]. Dans cette architecture, les signaux en bande de base I et Q générés par le CPU sont mis en forme par un filtrage digital permettant de minimiser l'encombrement spectral. Ils sont ensuite transposés en fréquence intermédiaire à l'aide d'un mélangeur et un oscillateur local numérique. Le signal FI produit est converti en un signal analogique par un CNA.

À la sortie du CNA, le signal FI est filtré par un filtre passe bande centré sur la fréquence intermédiaire permettant de réduire les interférences produites par l'opération du mélange numérique. Le signal est ensuite transposé vers la RF par un mélangeur et un oscillateur local accordé sur le canal à transmettre. Pour supprimer les composantes indésirables générées par le mélangeur et de laisser passer uniquement la plage des fréquences HF, le signal est filtré par un filtre passe bande [1.5-30 MHz]. Enfin, le signal est amplifié et filtré. Ce dernier filtrage sert à réduire les émissions parasites harmoniques [5]. Le schéma d'un émetteur superhétérodyne est donné sur la figure I.6.

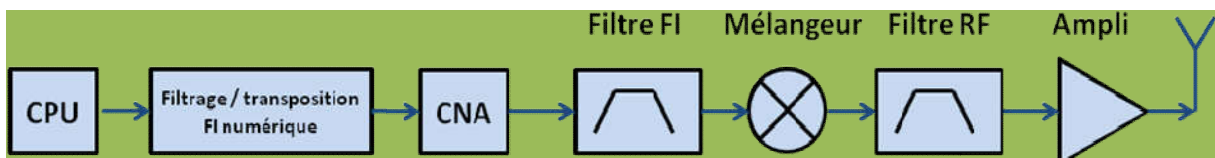


Figure I.6 : Schéma d'un émetteur superhétérodyne [5]

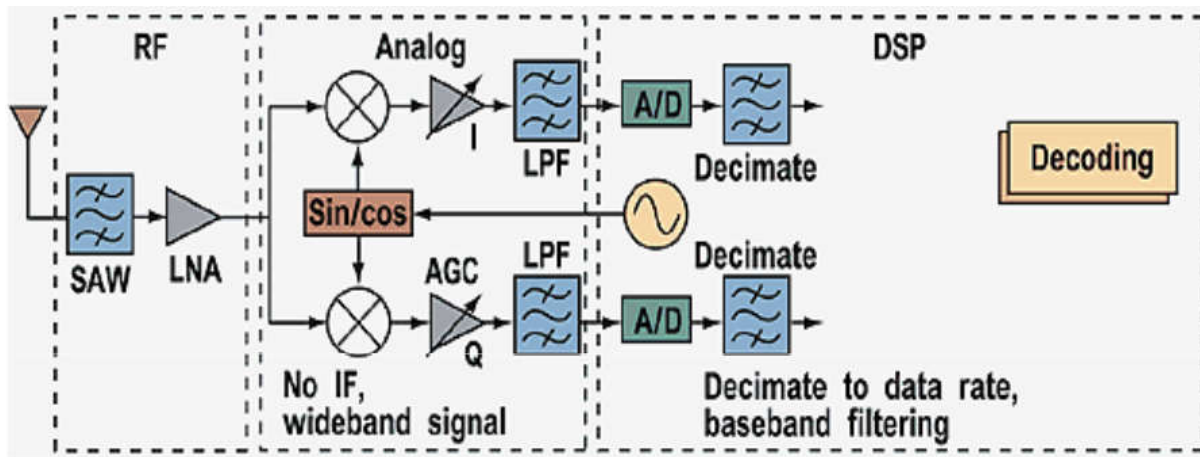


Figure I.7 : Schéma d'un récepteur à conversion directe pour clé DVB T [8]

I.11 Principaux types de la radio logicielle

I.11.1 La radio logicielle restreinte

La radio définie par logiciel en anglais (Software Defined Radio (SDR)) est particulièrement flexible en matière de paramètres du système, car la reconfiguration se fait par un logiciel. Le choix du signal est tout aussi souple, les SDR pouvant être adaptées à différents scénarios de l'environnement d'utilisation du spectre. Elles sont également flexibles quant au choix de la fréquence, car le développement des appareils ne doit pas être aussi spécifique.

Le développement rapide du potentiel de l'électronique numérique place dorénavant à portée de main des processus jusqu'ici impensables. Dans les SDR, les éléments du traitement de signal des émetteurs/récepteurs de radiofréquence sont définis par des blocs logiciels fonctionnels. Les appareils radio basés sur la SDR offrent une souplesse maximale. En fonction de la configuration, une SDR peut être une station de base de téléphonie mobile, un récepteur radio numérique ou un système radar.

On trouve la technologie SDR dans les stations de base des communications mobiles. L'ordinateur standard la transforme en un outil permettant de créer des prototypes de systèmes de communication sans fil. Depuis quelques années déjà, la SDR s'est notamment établie dans la technique de communication militaire. Parmi les avantages, la diminution drastique du nombre de radios différentes.

Enfin, les clés USB peuvent même servir de récepteurs de DVB-T (Digital Video Broadcasting) avec une largeur de bande du signal allant jusqu'à 3,2 MHz [5].

I.11.2 La radio logicielle idéale

Dans une radio logicielle idéale, en-dehors de l'antenne, de l'étage final de puissance et du micro/haut-parleur, il n'y a plus d'étage analogique pour le traitement du signal comme montre la figure I.7. Dans cette architecture, dès l'antenne, les signaux analogiques du circuit récepteur sont presque immédiatement convertis en signaux numériques, dont l'ensemble du traitement ultérieur peut être assuré par des algorithmes dans des processeurs, comme c'est décrit en [3].

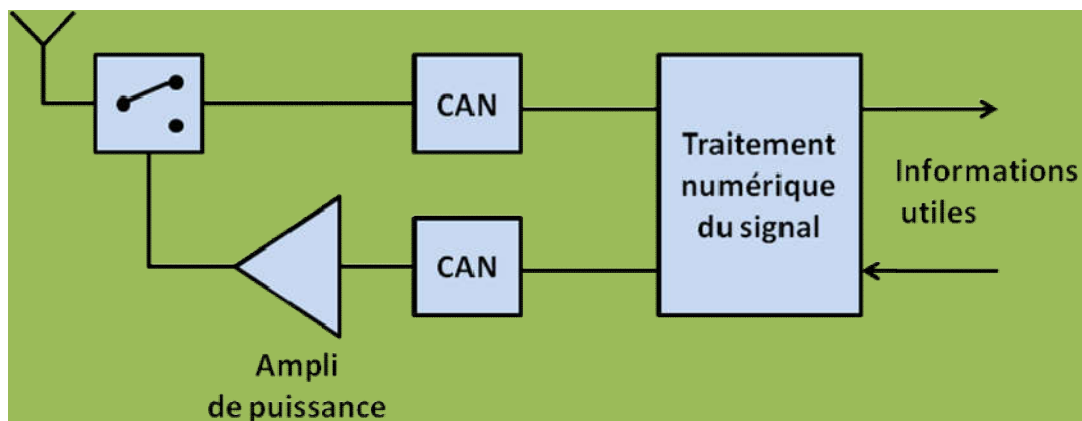


Figure I.8 : Architecture d'une radio logicielle idéale

I.11.3 La radio logicielle intelligente (cognitive) :

La radio cognitive est une forme de communication sans fil dans laquelle un émetteur/récepteur peut détecter intelligemment les canaux de communication qui sont en cours d'utilisation et ceux qui ne le sont pas, et peut se déplacer dans les canaux inutilisés. Ceci permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio disponibles (RF) du spectre tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs (figure 1.8).

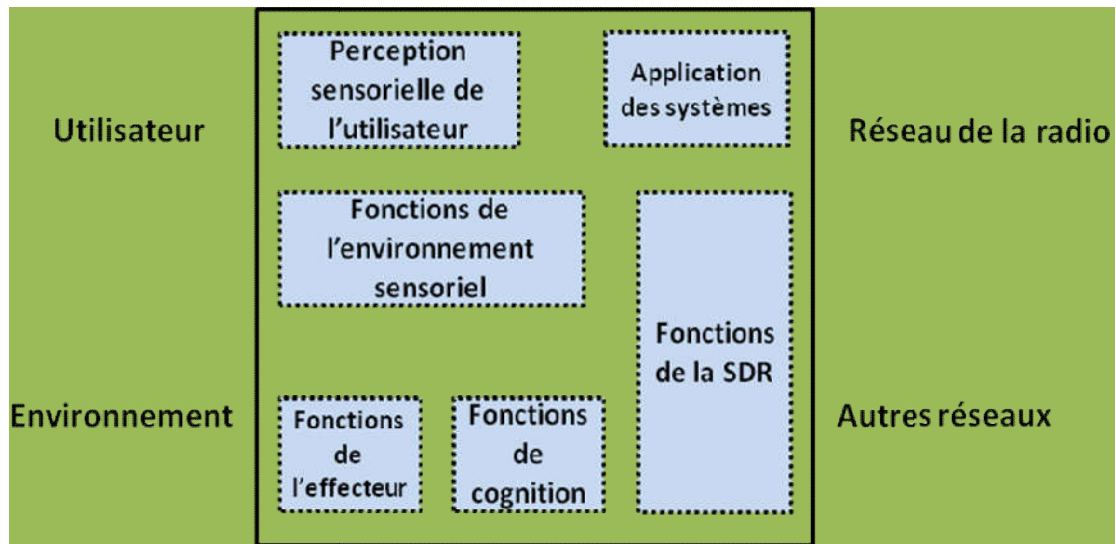


Figure I.9 : Architecture de la radio cognitive.

Cette capacité permet d'adapter chaque appareil aux conditions spectrales et offre donc aux utilisateurs un accès plus souple, efficace et complet à cette ressource. Cette approche peut améliorer considérablement le débit des données et la portée des liaisons sans augmenter la bande passante ni la puissance de transmissions. La radio cognitive offre également une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en accordant d'abord l'usage prioritaire au propriétaire du spectre, puis en permettant à d'autres de se servir des portions inutilisées du spectre.

L'une des principales caractéristiques de la radio cognitive est la capacité d'adaptation où les paramètres de la radio (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) peuvent être modifiés en fonction de [12] :

- L'environnement radio.
- La situation.
- Les besoins de l'utilisateur.
- L'état du réseau.
- La géo localisation.

I.12 Les caractéristiques de la radio logicielle

La radio logicielle a les caractéristiques suivantes [1] :

- Elle optimise la réalisation des radios multi-modes ceci en reconfigurant à chaque fois un même ensemble de composants fonctionnels au lieu de dupliquer la chaîne de traitement radio autant de fois que de modes opératoires.
- Elle permet aussi de réduire les coûts de production : en effet le cycle de développement logiciel est souvent beaucoup plus court que celui de réalisation d'un nouveau circuit et surtout nécessite des phases de vérification et de validation moins complexes.
- De plus, la RL permet le prototypage rapide de nouveaux standards et de réduire le temps de mise sur le marché des nouveaux produits. D'autre part elle facilite la mise à jour et la maintenance des radios et permet ainsi d'augmenter la durée de vie des équipements de télécommunication.

En résumé, la RL a des perspectives économiques intéressantes qui permettraient de créer de nouvelles opportunités de marché et la création de nouveaux services comme par exemple, l'accès à des réseaux privés par téléchargement de code.

I.13 La Clé USB RTL-SDR (R820T SDR)

I.13.1 Définition

Cette clé USB permet en mode "normal" de recevoir les chaînes de la télévision TNT, mais peut être utilisée simplement, comme un récepteur-scanner large bande VHF-UHF de 24 Mhz à 1700 MHz théorique (figure 1.10).

Ceci est rendu possible grâce au chipset Realtek RTL2832U et au tuner R820T qui équipe ce modèle de clé USB TNT et qui permet d'offrir une bande passante dans tous les modes (AM, FM, FM large, SSB, CW, DATA, DMR) de 50Mhz à 1.5Ghz, sans trou en pratique [13].



Figure I.10 : La clé R820T utilisée dans notre projet de fin d'études.

La figure 1.11 décrit les bandes de fréquences que la clé SDR peut détecter.

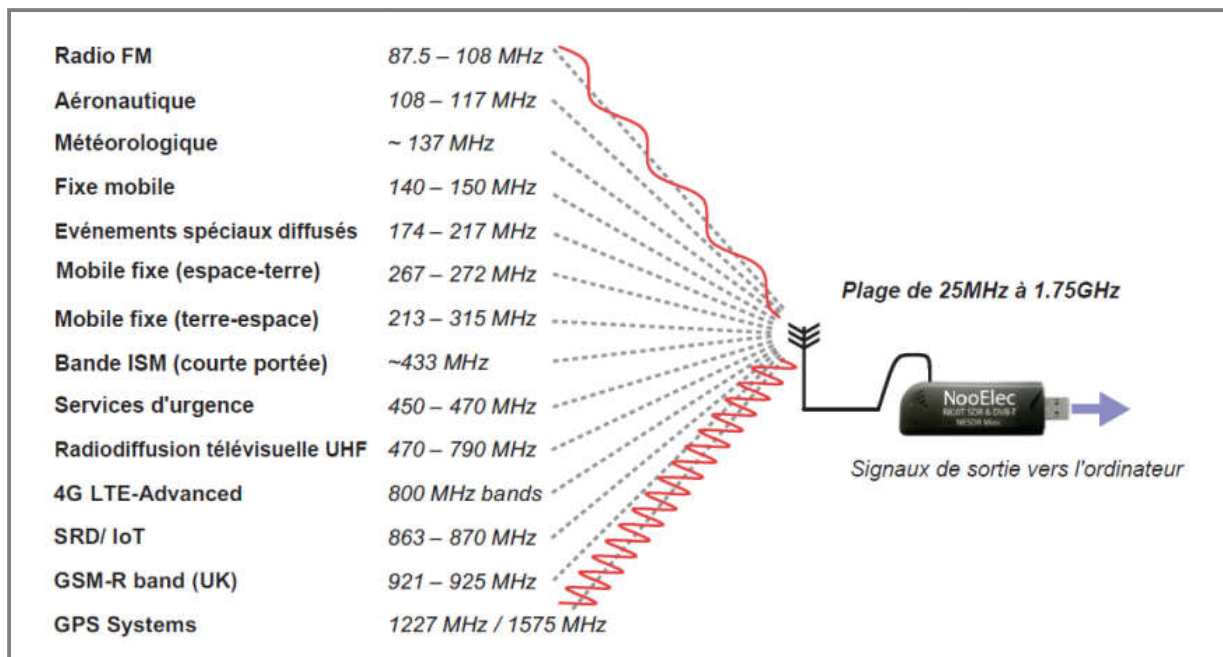


Figure I.11 : Bandes de fréquence du RTL SDR utilisée

I.13.2 La composition générale et interne de la clé RTL-SDR

La clé RTL-SDR est composée de :

- **Connecteur type-f** : pour la fixation d'une antenne à l'appareil (une antenne omnidirectionnelle est fournie).
- **Diode de décharge électrostatique (ESD)** : protège le tuner contre les décharges électrostatiques provenant de l'antenne.
- **R820T2** : la puce de l'accordeur, qui sélectionne une partie du spectre RF et convertit les signaux vers un FI.
- **RTL2832U** : la puce de démodulation, qui convertit le signal en bande de base, numérise le signal et réduit la fréquence d'échantillonnage.
- **Cristal d'horloge 28.8MHz** : fournit une référence pour la synthèse de fréquence, et utilisé pour la génération de l'oscillateur local et de l'horloge (ce composant est commun à la R820T et RTL2382U).
- **Interface USB 2.0** : une partie du RTL2832U, utilisée pour transférer les données IQ en bande de base vers le PC hôte.

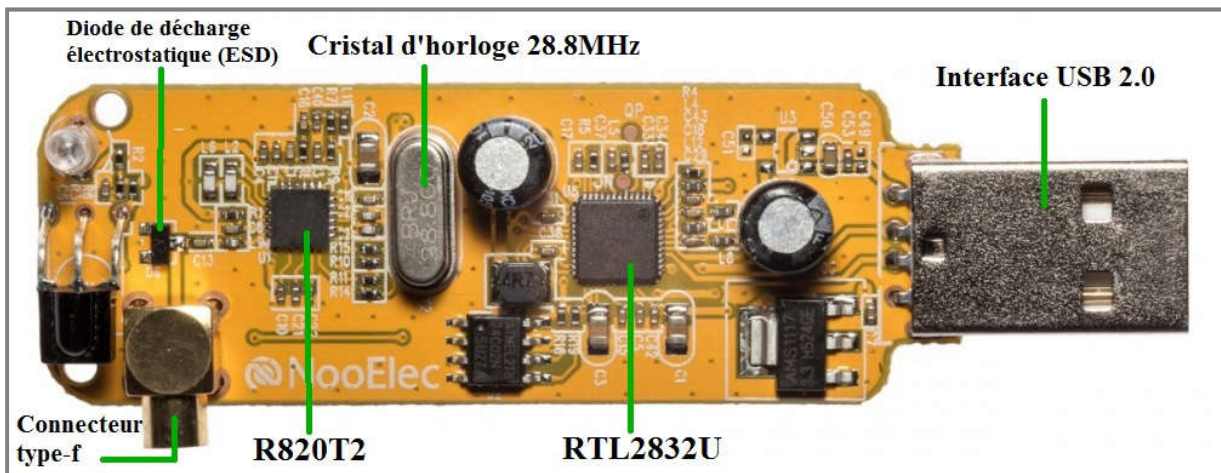


Figure I.12 : Composants internes de la RTL-SDR

I.13.3 Exploitation et applications de la clé RTL-SDR :

La clé RTL-SDR peut être utilisée pour les applications suivantes [11] :

- Acquisition des signaux AM, FM ..
- Recevoir des signaux GPS et les décoder.

- Regarder la TV analogique.
- Décoder les signaux GSM.
- Utilisation RTL-SDR sur votre appareil Android comme un scanner.
- Écouter des conversations non cryptées de la police, des ambulances, des pompiers.
- L'écoute des conversations de la tour de contrôle et des avions.
- Le suivi des positions d'avions comme un radar avec le décodage ADSB.
- Le décodage ACARS des avions.
- Décodage non cryptés des transmissions vocales numériques.
- Le suivi de positionnement d'un bateau comme un radar avec le décodage AIS.
- météorologiques.
- Le suivi d'un ballon lancé à haute altitude.

I.14 Conclusion

Ce chapitre résume à la fois les différentes phases d'évolution de la technologie du dispositif radio logicielle ainsi que les différents types des radios logicielles, la description et le principe de fonctionnement d'une radio logicielle d'une manière générale. On conclut que malgré le taux de complexité des différentes structures et fonctionnement de la radio logicielle durant ses dernières décennies, les chercheurs scientifiques et développeurs ne cessent d'innover et de concevoir des structures sophistiquées qui obéissent aux différentes normes de la nouvelle technologie.

Dans le chapitre suivant, nous venons d'exploiter la clé RTL-SDR à fin d'effectuer un balayage de fréquences de la radio FM, AM puis détecter une activité spectrale d'un signal modulé par déplacement de phase ASK émis par une carte Arduino.

Chapitre II

**Conception et implémentation des
récepteurs SDR sous GNU RADIO**

II.1 Introduction

Ce chapitre rassemble à la fois la théorie de chacun des types de modulations suivantes : la modulation d'amplitude, la modulation de fréquence, la modulation ASK (ASK- Amplitude Shift Keying) et leurs démodulations ainsi que la conception de leurs récepteurs et leurs implémentations sous l'environnement GNU Radio. Le balayage de spectres de fréquences FM, AM et l'ASK émis par une carte Arduino, sont réalisés en utilisant la clé RTL-SDR.

II.2 Environnement GNU RADIO

GNU Radio est un environnement de développement logiciel gratuit et à code source ouvert qui fournit des blocs de traitement du signal pour la mise en œuvre des radios logicielles. Il peut être utilisé avec du matériel RF externe peu coûteux et facilement disponible pour créer des radios définies par logiciel, ou sans matériel dans un environnement de type simulation. Il est largement utilisé dans les milieux de la recherche, de l'industrie, des universités, des gouvernements et des passionnés pour soutenir à la fois la recherche sur les communications sans fil et les systèmes de radio du monde réel [14].

II.3 Conception d'un Récepteur AM sous GNU RADIO

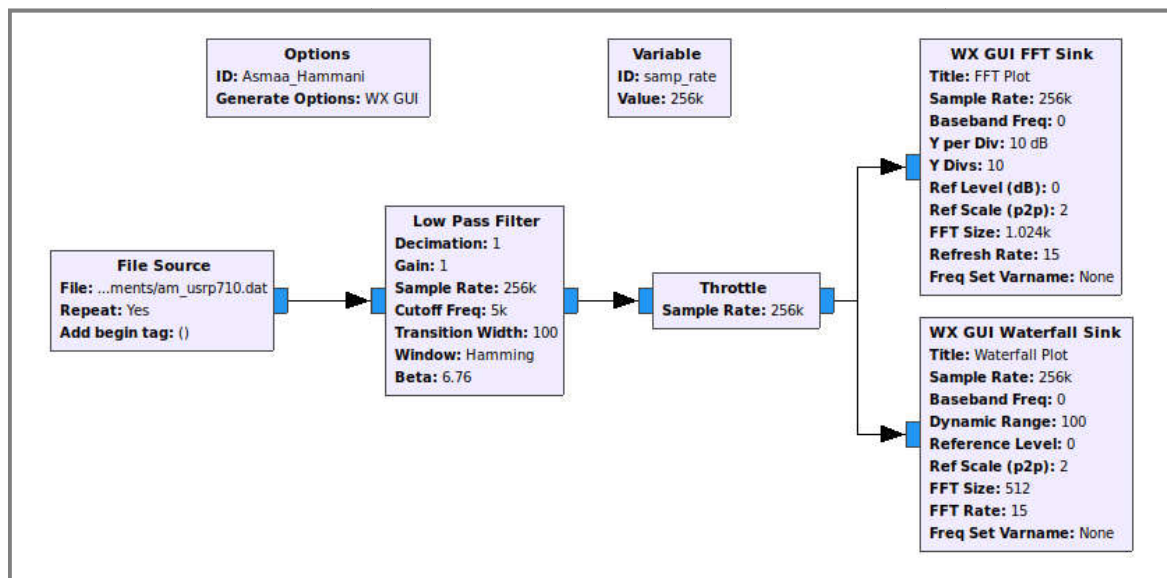
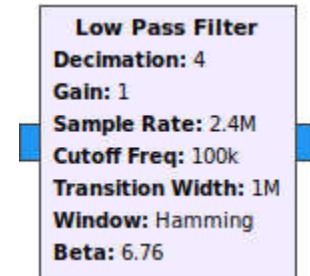


Figure II.1 : Récepteur AM sous GNU Radio.



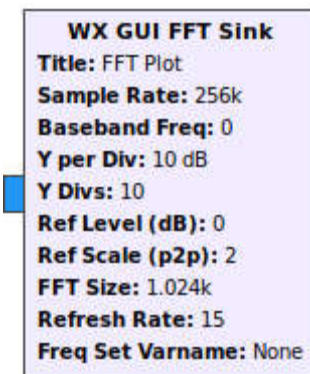
Option permettant l'accès et l'appel du fichier d'informations (signal AM) enregistré depuis une SDR de type USRP.



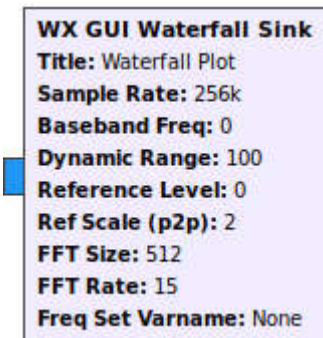
La multiplication d'un signal complexe avec un sinus ou un cosinus décale les fréquences vers le haut ou le bas. La raison pour laquelle le bloc du filtre passe-bas est susceptible d'effectuer un réglage de décalage, permet donc de scanner les basses fréquences.



Limite le débit de données au taux d'échantillonnage spécifié. Cela empêche GNU Radio de consommer toutes les ressources du processeur lorsque le graphique de flux n'est pas régulé par du matériel externe (par exemple: source / puits audio ou source / puits USRP).



Le récepteur WX GUI FFT Sink agit comme un analyseur de spectre en effectuant une transformation de Fourier rapide.



Une interface graphique permettant d'afficher plusieurs signaux sur un tracé en cascade (spectrogramme en 2D), Les intensités minimales et maximales déterminent comment la carte de couleurs représente la plage de valeurs.

II.3.1 Principe de la modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude (AM) est la plus ancienne technique de modulation, Elle a fait ses preuves grâce à sa facilité d'être modulé et démodulé avec son abaissement du coût de réalisation [15].

Cependant, la modulation d'amplitude souffre de deux limitations majeures :

- Le gaspillage de puissance : La transmission de la porteuse représente une perte de puissance d'où elle représente plus des deux tiers de la puissance totale du signal modulé.
- Le gaspillage de la bande passante : La modulation d'amplitude utilise une bande de transmission égale à deux fois la bande passante du message et cela veut dire un gaspillage de la bande passante, pour obtenir toute l'information nécessaire à la reconstruction du signal émis $\tilde{m}(t)$, on doit envoyer une des deux bandes latérales supérieures ou inférieures qui sont liées autour de la fréquence de la porteuse f_c par symétrie.

Soit un signal sinusoïdal $s(t)$ appelé porteuse ayant une phase nulle.

$$s(t) = f_{ff} \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad \text{II.1}$$

- f_{ff} : Amplitude de la porteuse

La AM est aussi définie comme un processus dans lequel, l'amplitude de la porteuse varie autour d'une valeur moyenne, linéairement avec le signal d'information en bande de base $\tilde{m}(t)$.

Pour transmettre une information, on peut donc agir sur l'amplitude f_{ff} de la porteuse $s(t)$ [16].

Soit $\tilde{m}(t)$ le signal modulant (information en bande de base) définit comme suit :

$$\tilde{m}(t) = f_{m\#} \cos(2\pi f_{\#} t) \quad \text{II.2}$$

- $f_{m\#}$: Amplitude du signal modulant
- $f_{\#}$: fréquence du signal modulant

On définit la modulation d'amplitude double bande avec porteuse par $s_{AM}(t)$ tel que:

$$s_{AM}(t) = f_{ff} \cdot [1 + \mu \cdot \tilde{m}(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad \text{II.3}$$

- $\mu = \frac{f_{m\#}}{f_{ff}}$: la sensibilité du modulateur.

La forme du signal modulé s'appelle l'enveloppe, elle prend la même forme que le signal $m(t)$, suivant deux conditions de modulation :

- Lorsque $|k_a m(t)| < 1$, l'enveloppe du signal AM s'écrit sous la forme

$$s_{AM}(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad \text{pour } 1 + k_a m(t) > 0 \quad \text{II.4}$$

1. Lorsque $|k_a m(t)| > 1$, on appelle la forme du signal obtenu une surmodulation.

Le spectre du signal $s_{AM}(t)$ est translaté autour de la fréquence porteuse f_c et est donné par la relation suivante :

$$S_{AM}(f) = \frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] + \frac{A_c}{2} [C(f - f_c) + C(f + f_c)] \quad \text{II.5}$$

- $M(f \pm f_c)$ spectre de $m(t)$ autour de la fréquence $\pm f_c$
- $C(f \pm f_c)$ Spectre de la porteuse

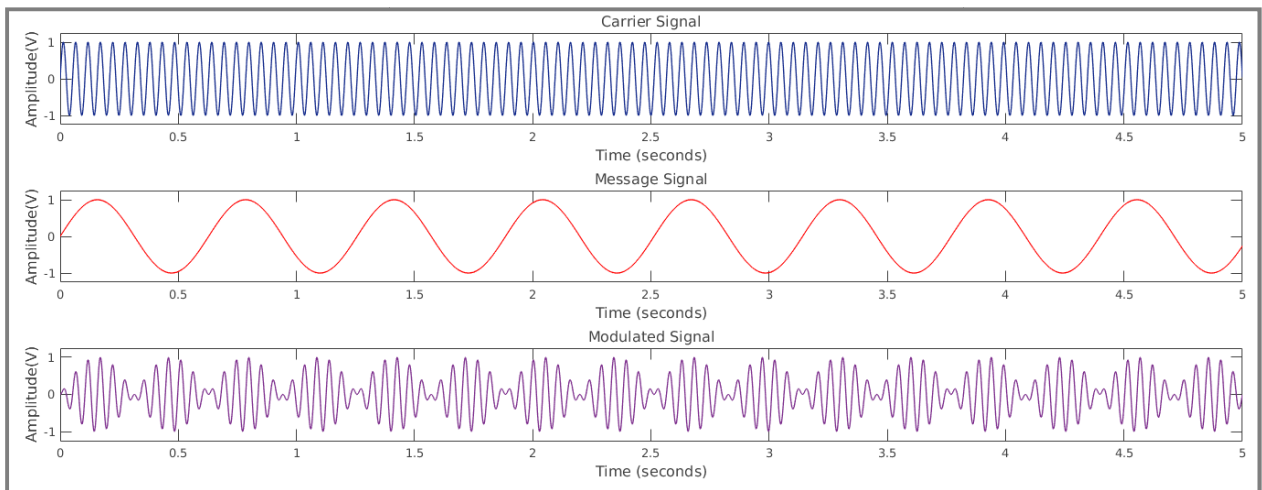


Figure II.2 Principe de modulation d'amplitude.

II.3.2 Démodulation d'amplitude

Pour obtenir et récupérer un signal modulé en amplitude par la méthode de détection cohérente, on utilise un multiplieur analogique [17]. Si on multiplie le signal AM par la même porteuse en réception on obtient la relation suivante:

$$s_{AM}(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad \text{II.6}$$

$$s_{AM}(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) = [1 + k_a m(t)] \cdot \frac{A_c}{2} [\cos(2\pi f_c t) + \cos(4\pi f_c t)] \quad \text{II.7}$$

$$s_{AM}(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) = \frac{A_c}{2} [1 + k_a m(t)] [1 + \cos(4\pi f_c t)] \quad \text{II.8}$$

Chapitre II : Conception et implémentation des récepteurs SDR sous GNU RADIO

En appliquant des filtres passe-bas appropriés, on obtient un signal proportionnel au signal d'information $\tilde{s}(t)$.

II.3.3 Implémentation sous GNU RADIO

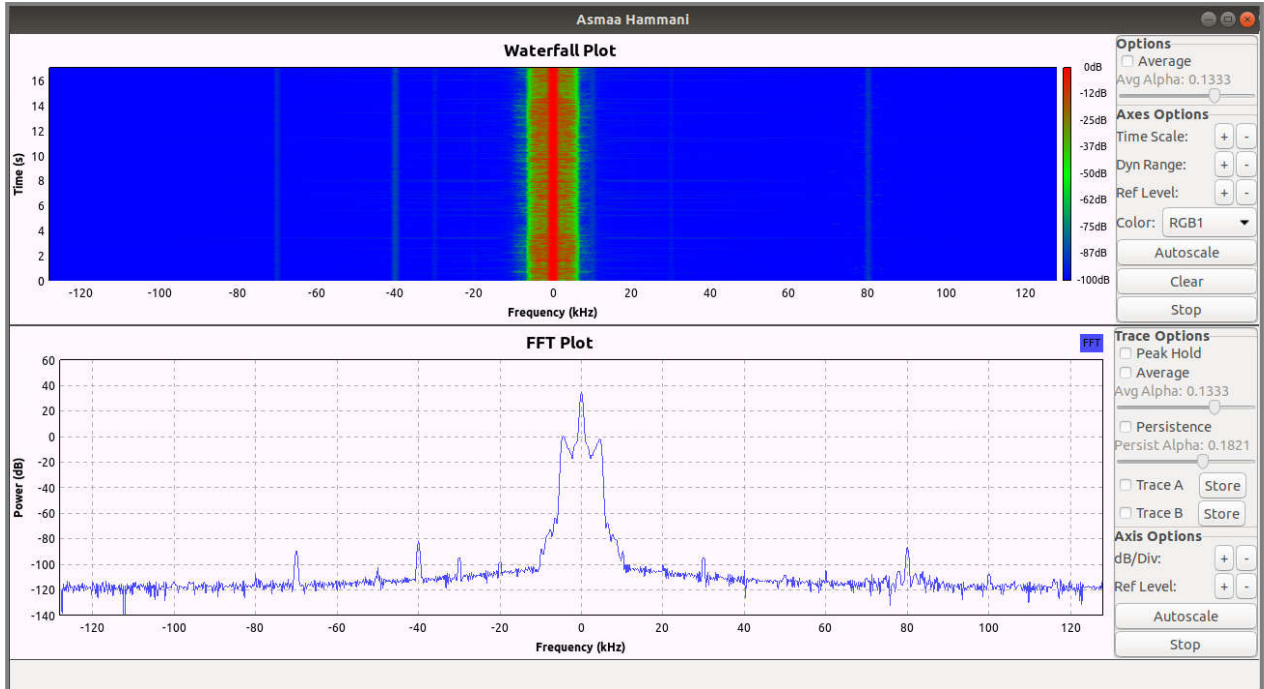


Figure II.3 : Spectrogramme de fréquences AM sous GNU RADIO.

II.4 Conception d'un Récepteur FM sous GNU RADIO

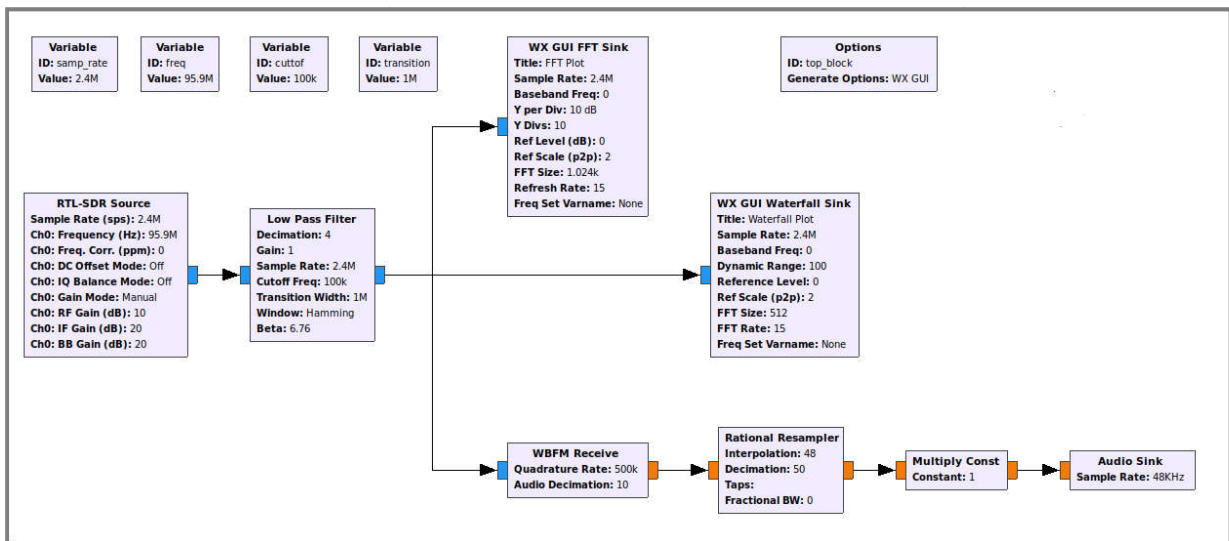
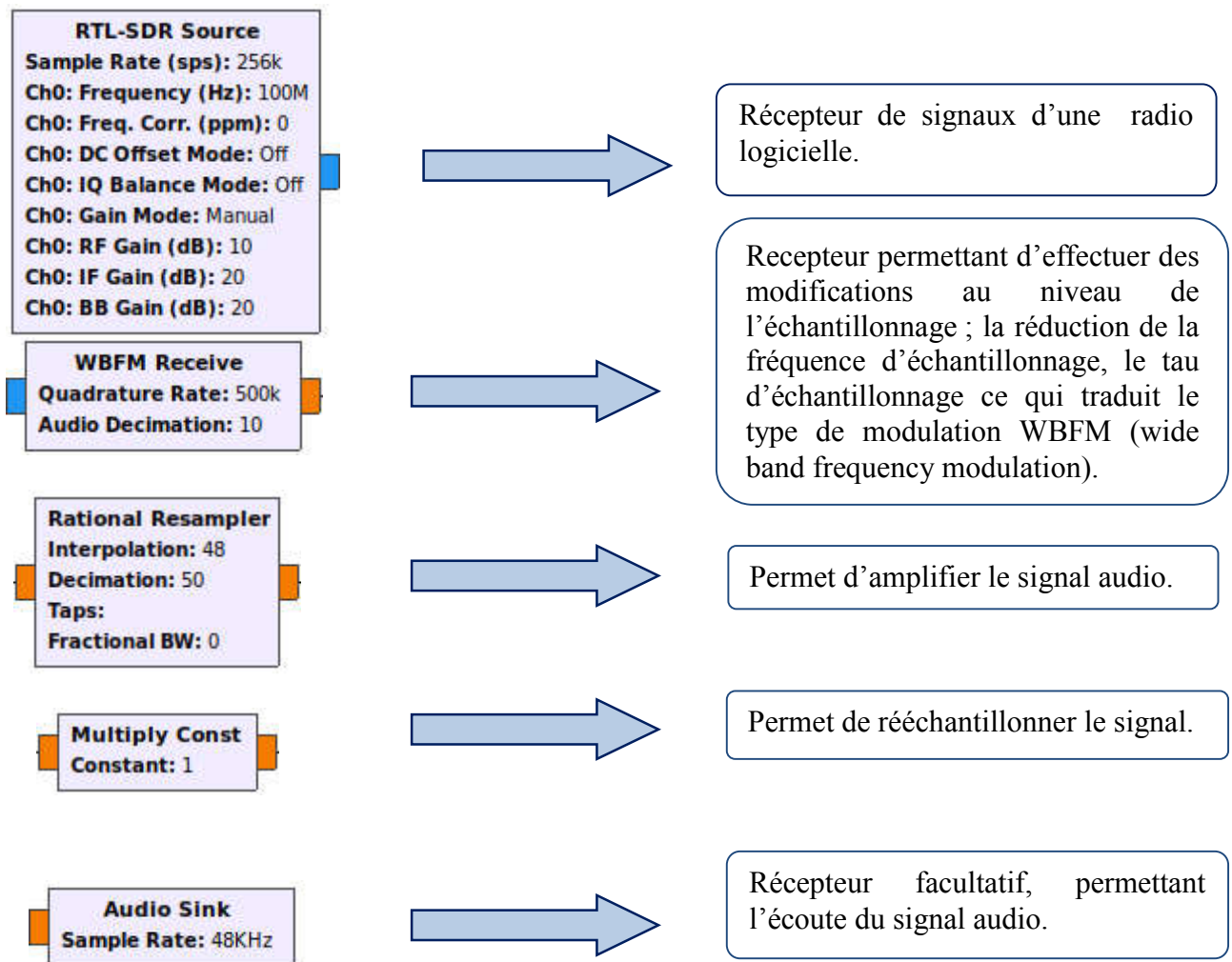


Figure II.4 : Récepteur FM sous GNU Radio.



II.4.1 Principe de la modulation de fréquence FM (Frequency Modulation)

L'amplitude d'un signal modulé en amplitude est souvent modifiée par les parasites dus essentiellement aux interférences avec les autres stations émettrices. On a cherché alors à moduler la fréquence du signal en laissant son amplitude constante : c'est la modulation de fréquence [18]. La modulation de fréquence présente un autre avantage : sa puissance d'émission reste constante. La modulation de fréquence a pour avantages :

- une meilleure fidélité.
- moins d'interférences avec d'autres stations.
- moins sensible aux parasites atmosphériques.
- pas de problème de surmodulation.

Le signal modulé en fréquence garde une amplitude constante, mais sa fréquence varie légèrement au cours du temps autour de la valeur f_c (fréquence de la porteuse). Les variations de fréquence reproduisent le signal modulant. La fréquence du signal modulé n'est pas

constante. Ses valeurs restent proches de la fréquence de la porteuse, mais elle varie au cours du temps en fonction du signal modulant. Ce principe est montré dans la figure II.5.

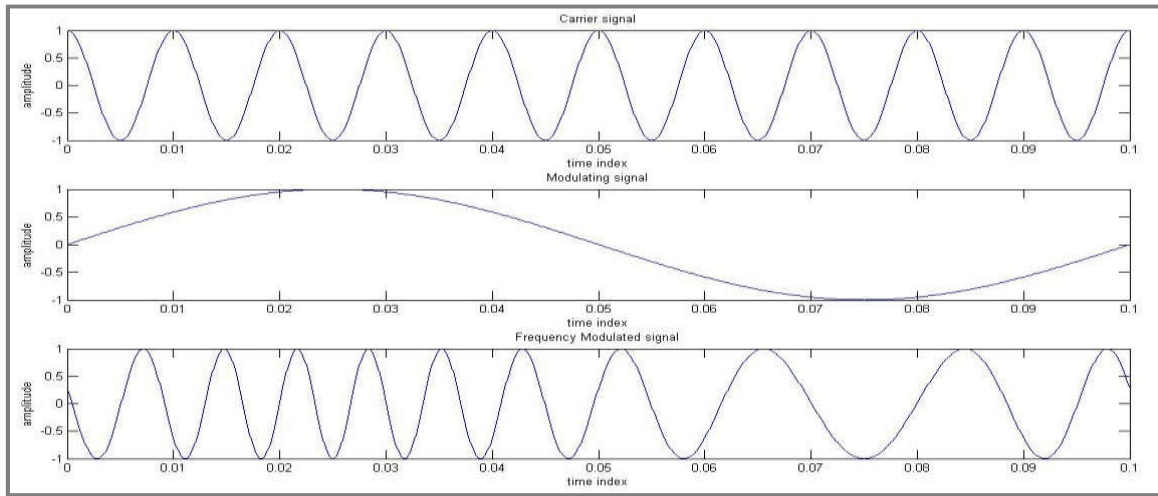


Figure II.5 : Principe de la modulation de fréquence.

Pour émettre en modulation de fréquence il faut produire un signal sinusoïdal d'amplitude constante f_c et de fréquence ω_c variable. Ce signal est toujours produit par un oscillateur commandé en tension (VCO : Voltage Commanded Oscillator).

Un signal d'information $m(t)$, est appliqué à l'entrée du VCO et le signal de sortie, $s_{FM}(t)$, est une onde porteuse sinusoïdale à amplitude constante dont la fréquence varie en fonction de signal de message $m(t)$. La fréquence instantanée $f_s(t)$ du signal de sortie est exprimée par :

$$f_s(t) = f_c + k_f m(t) \tag{II.9}$$

Le signal $s_{FM}(t)$ à la sortie du VCO prend la forme suivante :

$$s_{FM}(t) = f_c \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int m(\tau) d\tau \right) \tag{II.10}$$

Pour estimer la bande passante d'un signal FM, Nous allons d'abord définir un exemple de signal d'information $m(t)$ sinusoïdal, ayant l'amplitude f_m et la fréquence f_m :

$$m(t) = f_m \cos(2\pi f_m t) \tag{II.11}$$

En substituant ce signal de message dans la formule ci-dessus, nous trouvons :

$$s_{FM}(t) = f_c \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int f_m \cos(2\pi f_m \tau) d\tau \right) \tag{II.12}$$

$$s_{FM}(t) = f_c \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi k_f f_m \times \frac{\sin(2\pi f_m t)}{2\pi f_m} \right) \tag{II.13}$$

$$s_{FM}(t) = f_c \cos \left(2\pi f_c t + \frac{k_f f_m}{f_m} \times \sin(2\pi f_m t) \right) \tag{II.14}$$

$$s_{FM}(t) = f_c \cos \left(2\pi f_c t + \frac{a}{f_m} \times \sin(2\pi f_m t) \right) \tag{II.15}$$

$$s(t) = f_c \cos(2\pi f_c t + d \sin(2\pi f_m t)) \quad \text{II.16}$$

La quantité f_m est appelée excursion en fréquence ou la déviation de fréquence est notée Δf , et $d = \frac{\Delta f}{f_m}$ c'est l'indice de modulation.

Le spectre d'un signal FM est complexe et ne se calcule que dans le cas particulier où le signal de message est sinusoïdal. Pour un signal de message sinusoïdal, l'occupation spectrale de signal FM est fonction de l'indice de modulation d . On peut voir ceci en écrivant d'abord le signal de FM en termes de fonctions de Bessel de première espèce d'ordre n $J_n(d)$

$$s(t) = f_c \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(d) \cos(2\pi f_c t + 2\pi k f_m t) \quad \text{II.17}$$

En appliquant la transformée de Fourier, nous voyons un spectre de signal FM avec des coefficients d'amplitude en fonction de l'indice de modulation d , comme indiqué dans l'équation suivante [19]:

$$S(f) = \frac{f_c}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(d) \delta(f - f_c - k f_m) + \frac{f_c}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(d) \delta(f - f_c + k f_m) \quad \text{II.18}$$

Le spectre d'une onde modulée en fréquence se compose d'une fréquence porteuse, d'une infinité de bandes latérales, situées de part et d'autre de la porteuse, séparées par des intervalles égaux f_m [20].

II.4.2 Démodulation de fréquence

Il existe plusieurs méthodes pour démoduler un signal modulé en fréquence.

Pour le démoduler par dérivation, il faut donc utiliser un démodulateur constitué par : un filtre dérivateur, un détecteur d'enveloppe et faire précéder le discriminateur d'un limiteur, à fin d'éliminer les parasites des variations d'amplitudes. [20]

La récupération du signal en utilisant un filtre dérivateur [26] :

$$s(t) = f_c \cos(2\pi f_c t + 2\pi \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau) \quad \text{II.19}$$

$$p(t) = 2\pi f_c t + 2\pi \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau \quad \text{II.20}$$

$$s_q(t) = \frac{r}{rW} f_c \cos p(t) E \quad \text{II.21}$$

$$\varphi_q(\omega) = -\frac{r_s(W)}{rW} (A_u \sin p(\omega)) \quad \text{II. 22}$$

$$\varphi_q(\omega) = 2^n f_i T_c + \omega(\omega) Y \sin(2^n \omega + 2^n = \frac{W}{X} (\omega) V^\circ + \omega) \quad \text{II. 23}$$

$\omega \gg \omega(\omega)$ Alors $2^n f_i T_c + \omega(\omega) > 0$

II.4.3 Implémentation sous GNU RADIO

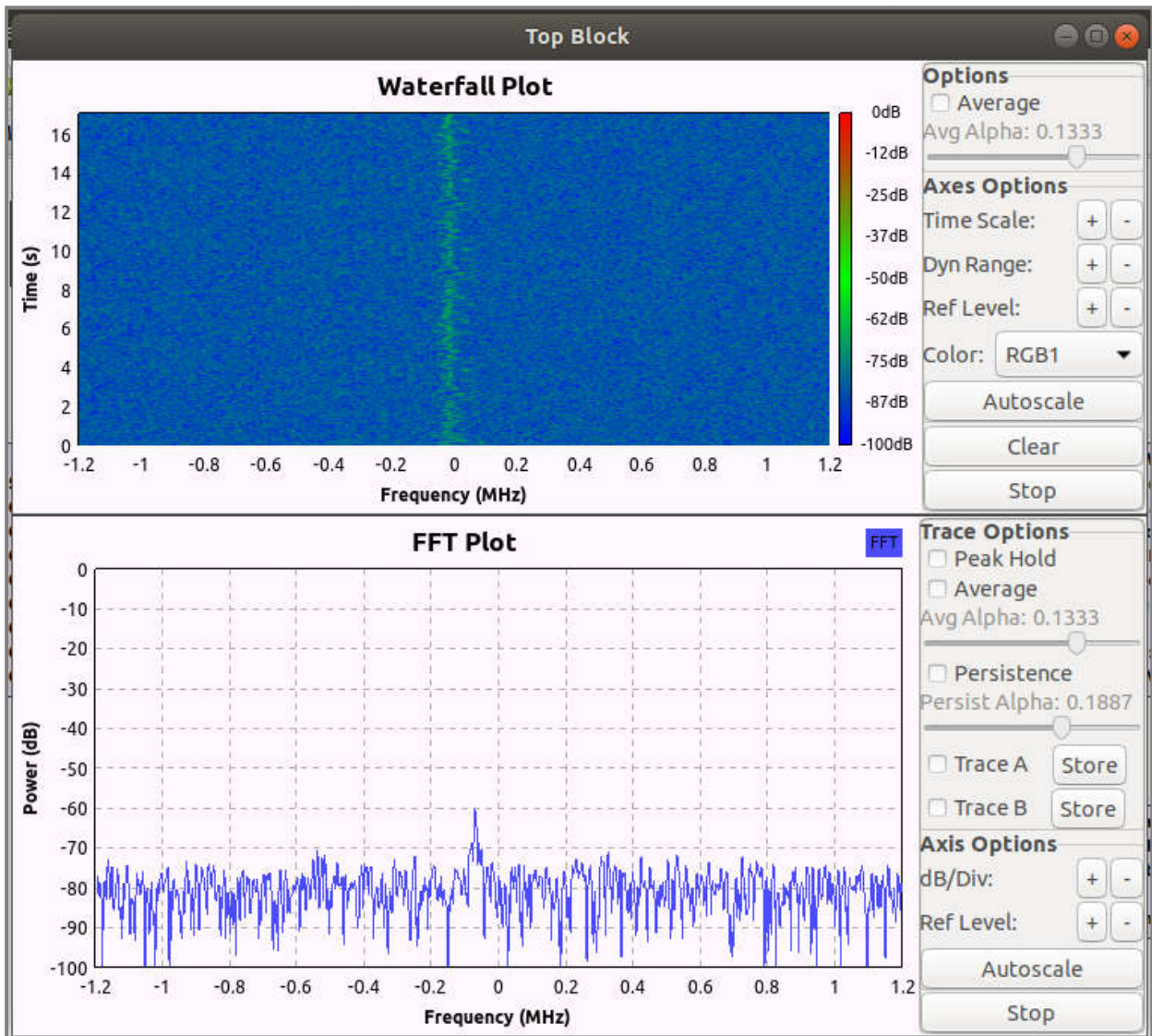


Figure II.6 : Spectrogramme de fréquences FM « Ain Témouchent » sous GNU RADIO.

II.5 Conception d'un Récepteur ASK sous GNU RADIO

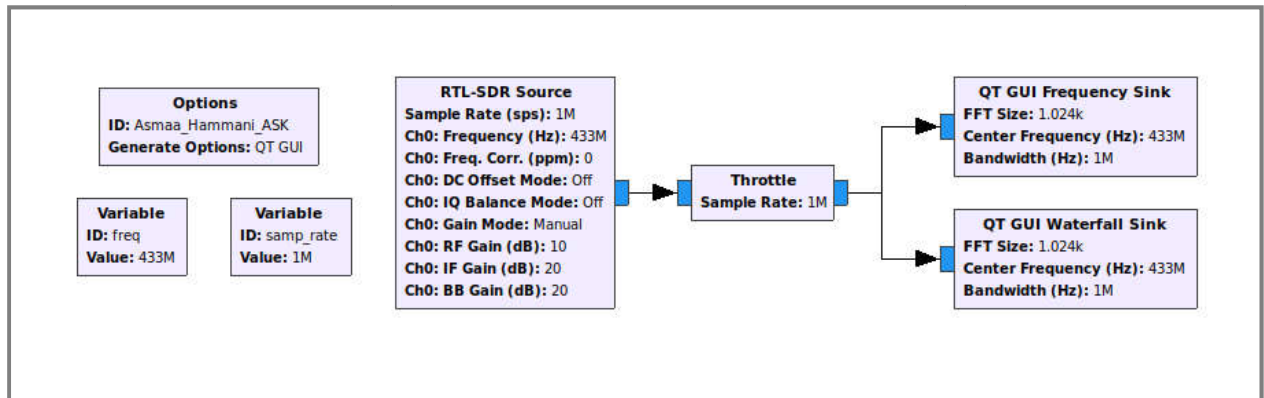


Figure II.7 : Récepteur ASK sous GNU Radio.

II.5.1 Modulation par déplacement d'amplitude (ASK)

La modulation ASK est une technique de modulation numérique qui représente les informations binaires du signal numérique à transmettre sous forme de variations d'amplitudes, en d'autre terme, sous forme d'un signal analogique. L'amplitude du signal de sortie varie entre 1 et 0, tandis que la fréquence et la phase du signal de la porteuse restent constantes [21]. Pour obtenir une modulation ASK il est lieu de faire passer notre signal numérique à moduler à travers un modulateur de balance qui va se préoccuper de la modulation d'amplitude et à l'aide du signal de la porteuse, le filtre passe-bande sélectionne les bandes de fréquence qui contiennent les informations utiles [22].

Cette technique de modulation présente les avantages suivants [23] :

- La possibilité d'être utilisée pour transmettre des données numériques sur fibre optique.
- Sa variante "Tout ou rien" est utilisée aux fréquences radios pour transmettre des codes morse.
- La simplicité de conception du récepteur.
- Faible coût de réalisation.

Les inconvénients de cette technique de modulation sont :

- La sensibilité au bruit atmosphérique.
- La nécessité d'une bande passante excessive ce qui implique un gaspillage d'énergie.

L'amplitude du signal modulé passe à w_x pour un bit de 0 et à w_x pour un bit de 1.

La fréquence reste constante.

$$w_x = w - w \quad \text{II.24}$$

$$w_x = w + w \quad \text{II.25}$$

Dans le cas de la modulation OOK $w_x = 0$

$$s_{yz}(t) = w \cos(2\pi f_c t + \phi) \quad \text{II.26}$$

$$s_{yz}(t) = w \cos(2\pi f_c t + \phi) [1 - \sin(2\pi f_c t + \phi) \sin(\phi)] \quad \text{II.27}$$

$$s_{yz}(t) = | \cos(2\pi f_c t + \phi) - \sin(2\pi f_c t + \phi) \sin(\phi) | \quad \text{II.28}$$

$$s_{yz}(t) = | \cos(2\pi f_c t + \phi) + \sin(2\pi f_c t + \phi) \sin(\phi) | \quad \text{II.29}$$

$$D'où | \cos(2\pi f_c t + \phi) - \sin(2\pi f_c t + \phi) \sin(\phi) | = w \cos(\phi) \quad \text{II.30}$$

Les paramètres (I,Q) représentent le signal modulé $s_{yz}(t)$ qui sera représenté dans le graphique de constellation en cas de modulation ASK [24].

Le spectre du signal ASK est donné par la relation suivante [25] :

$$S_{yz}(f) = \frac{1}{2} [S(f - f_c) + S(f + f_c)] \quad \text{II.31}$$

$$S_{yz}(f) = \frac{1}{2} [S(f - f_c) + S(f + f_c)] + \frac{1}{2} [S(f - f_c) + S(f + f_c)] + \frac{1}{2} [S(f - f_c) + S(f + f_c)] \quad \text{II.32}$$

II.5.2 Démodulation ASK

Pour démoduler un signal ASK par détection synchrone on peut utiliser la structure d'un détecteur de loi carré, en utilisant un filtre passe-bas à fin de récupérer la basse fréquence du signal émis, un comparateur pour obtenir la tension désirée (l'amplitude désirée) à l'aide d'un régulateur de tension. [27]

La démodulation ASK s'effectue comme suit :

$$s_{yz,q} = s_{yz}(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) \quad \text{II.33}$$

$$s_{yz,q} = w^2 \cos^2(2\pi f_c t + \phi) \quad \text{II.34}$$

$$s_{yz,q} = w^2 \frac{1 + \cos(4\pi f_c t + 2\phi)}{2} \quad \text{II.35}$$

$$s_{\text{ASK}} = \frac{b_1}{A} + \frac{b_2}{A} \cos(4\pi f_c t + 2\pi \phi)$$

II.36

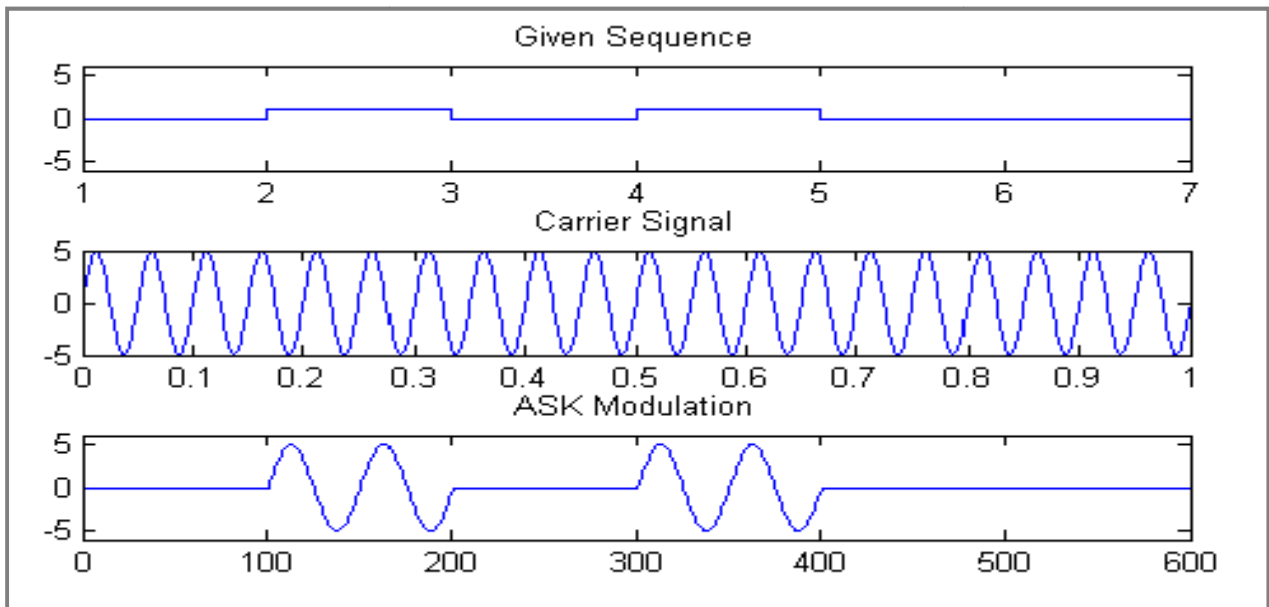


Figure II.8 : Principe de la modulation par déplacement d'amplitude ASK.

II.5.3 Méthode d'émission d'un signal ASK

La modulation par déplacement d'amplitude est facile à mettre en œuvre. Il est assez simple de concevoir les circuits du décodeur. De plus, l'ASK nécessite moins de bandes passantes que d'autres techniques de modulation telles que FSK. C'est l'une des raisons d'être peu coûteuse.

Les étapes d'implémentation nécessitent deux ordinateurs personnels, l'un pour l'émission et l'autre pour la réception, il est recommandé d'installer l'IDE ou le logiciel de développement Arduino pour la génération et l'émission du signal ASK ensuite faire la réception à travers la clé RTL-SDR branchée au deuxième PC.

Le câblage de l'émetteur est assez simple. Il n'a que trois connexions :

- Connectez la broche VCC à la broche 5V et GND à la terre sur l'Arduino.
- La broche Data-In doit être connectée à la broche numérique n° 12 de l'Arduino.

Notre câblage est illustré dans la Figure II.9.

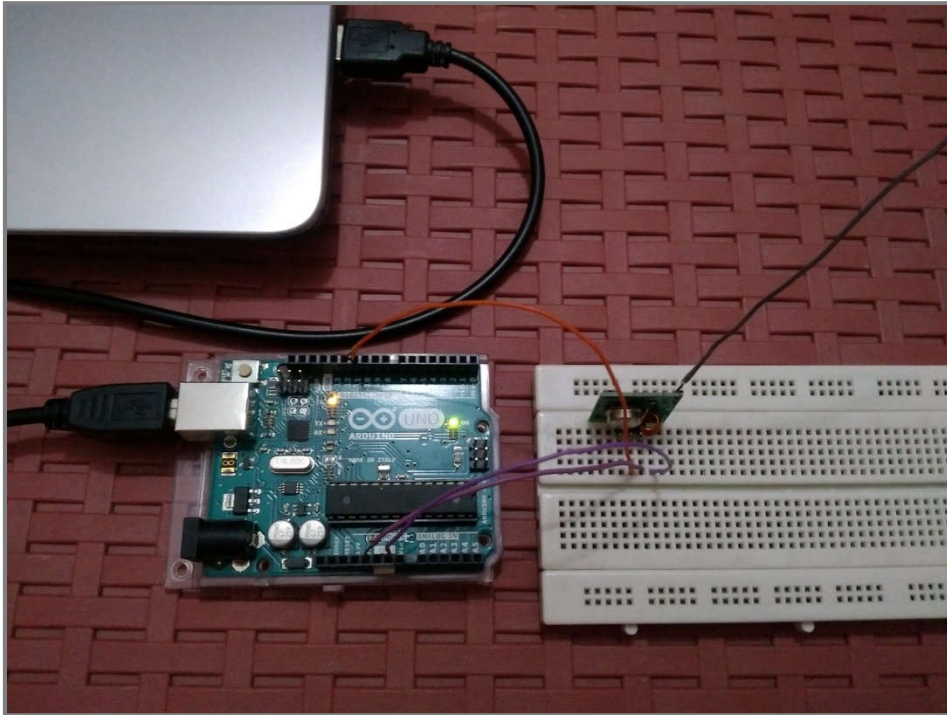


Figure II.9 Câblage d'un émetteur de signal ASK.

II.5.4 Installation de la bibliothèque RadioHead

Avant de commencer à coder, il existe une bibliothèque appelée **RadioHead** qu'il faut installer dans l'IDE Arduino, ce qui facilitera l'écriture du code.

RadioHead est une bibliothèque qui permet un transfert de données simple entre l'émetteur et le récepteur, pour l'installer visitez ce lien airspayce.com.

Elle permet de prendre nos données, les encapsule dans un paquet de données comprenant un contrôle de redondance cyclique (CRC), puis les envoie avec le préambule et l'en-tête nécessaires au destinataire (RTL-SDR). Si les données sont reçues correctement, le destinataire est informé de l'existence des données et procède au décodage et à l'action.

Pour l'installer :

- Ouvrez l'IDE Arduino et accédez à l'outil "Croquis".
- Ajoutez la bibliothèque en sélectionnant le fichier **RadioHead.zip** que vous venez de télécharger.

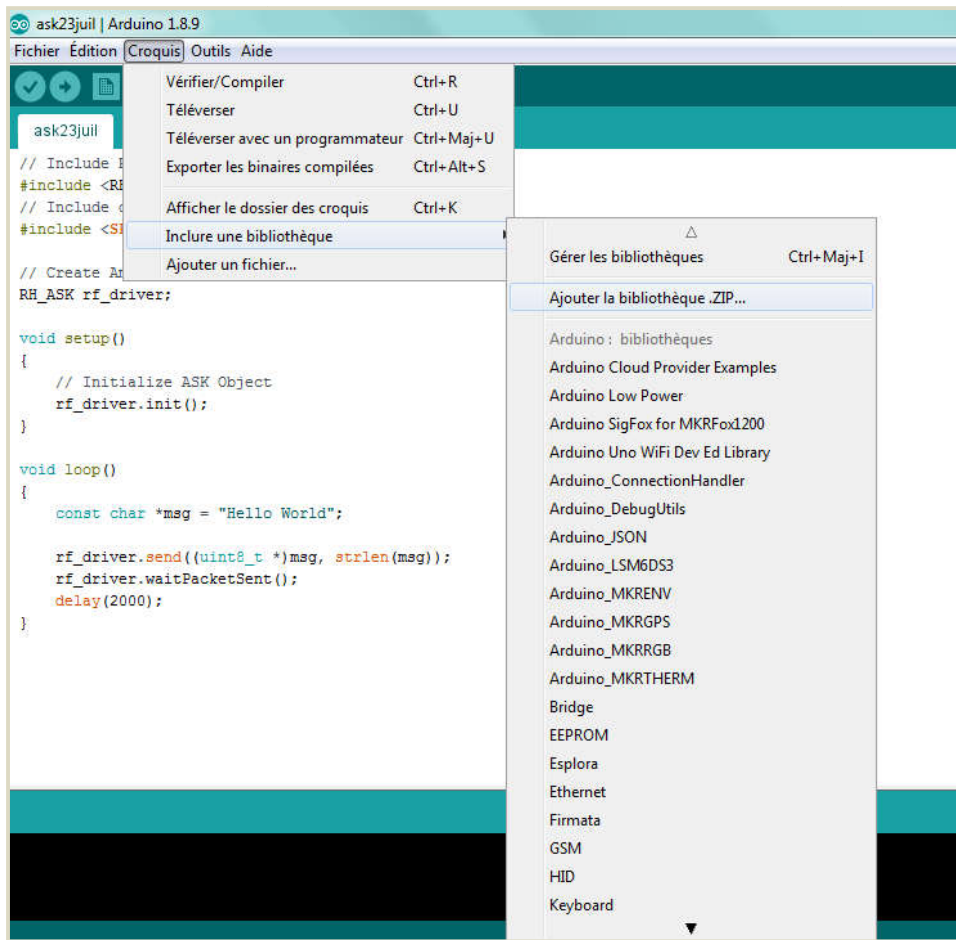


Figure II.10 : L'ajout de la bibliothèque RadioHead.

II.5.5 Le code de génération et émission d'un signal ASK

```
// Include RadioHead Amplitude Shift Keying Library
#include <RH_ASK.h>

// Include dependant SPI Library
#include <SPI.h>

// Create Amplitude Shift Keying Object
RH_ASK rf_driver;

void setup()
{
    // Initialize ASK Object
    rf_driver.init();
}

void loop()
{
    const char *msg = "Hello World";
    rf_driver.send((uint8_t *)msg, strlen(msg));
    rf_driver.waitPacketSent();
    delay(1000);
}
```

```
}  
#include <RH_ASK.h>  
#include <SPI.h>  
  
// Create Amplitude Shift Keying Object  
RH_ASK rf_driver;  
  
// Initialize ASK Object  
rf_driver.init();  
  
// Preparing a message  
const char *msg = "Hello World";  
rf_driver.send((uint8_t *)msg, strlen(msg));  
rf_driver.waitPacketSent();  
delay(1000);
```

II.5.6 Implémentation sous GNU RADIO

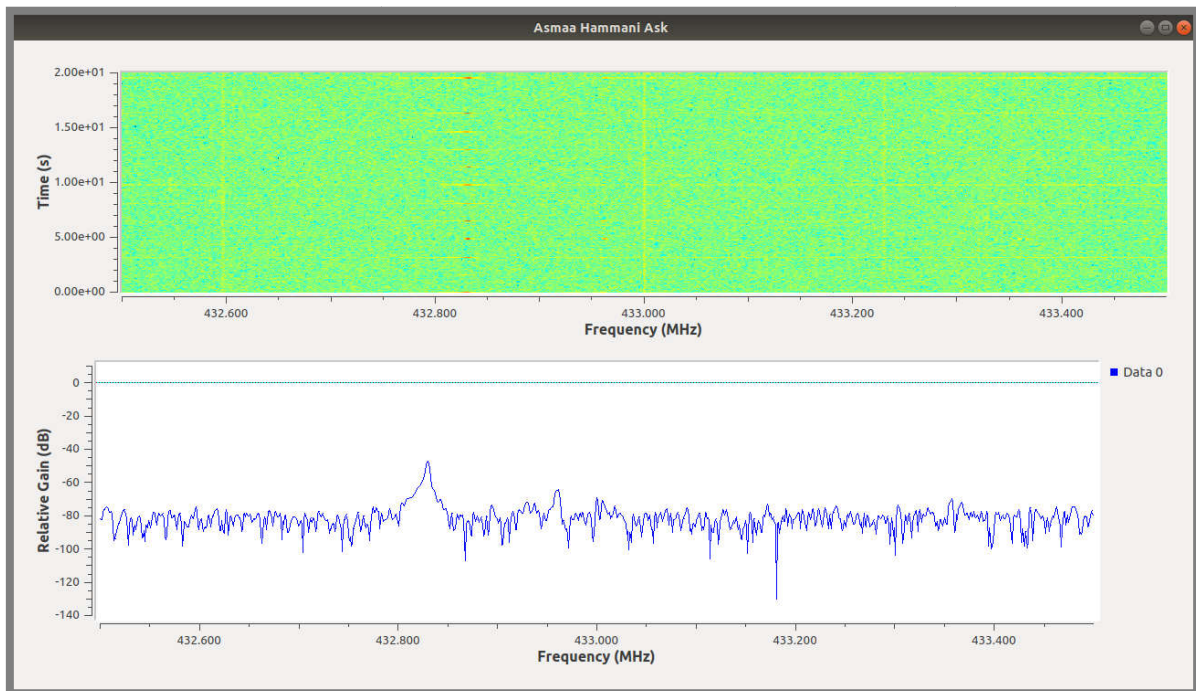


Figure II.11 Spectrogramme de fréquences ASK sous GNU RADIO.

II.6 Conclusion

Il était très efficace de choisir un tel environnement de développement si performant que celui du GNU Radio à fin de visualiser et détecter les activités spectrales des signaux suivants : AM à l'aide d'un fichier source enregistré en utilisant une radio logicielle de type USRP depuis une atmosphère où les messages transmis, entre les unités de télécommande des avions, sont disponibles, ainsi que l'activité spectrale de la radio FM de Ain Témouchent. En outre l'expérience de l'émission et de la réception d'un signal ASK a été bien réussie d'où

le spectre ASK détecté atteint une valeur très près de la valeur de fréquence que le transmetteur ASK transmet, près de 433 Mhz

La technologie des radios logicielles SDR permet de transporter et de diffuser les informations à travers un large spectre de réseaux sans fil et faciliter la communication entre des équipements, des personnes, des stations de traitements ou d'émissions d'informations à de grandes distances.

Le but principal de la dernière génération des dispositifs RTL-SDR est d'inclure une grande quantité de modules de traitement matériel en logiciel, comme le traitement numérique du signal, multiplexage, filtrage, échantillonnage et correction des erreurs, donc elle offre une grande flexibilité de changement de paramètres à l'aide d'un logiciel, comme elle permet aussi d'émettre des données.

Nous voulons à travers notre mémoire vous faire accéder aux principaux points d'informations sur la RTL-SDR, son développement, ses applications, son utilité. En addition, nous avons fait preuve de sa performance adéquate à traiter les informations, nous avons réussi à détecter une activité spectrale des signaux radiofréquences suivants : la FM, l'ASK et aussi l'AM en utilisant un fichier source depuis le Net. Nous avons conclu que les résultats obtenus correspondent aux notions de base de la théorie des spectres de fréquences.

- [1] BEN ABDALLAH, R. (2010). Machine virtuelle pour la radio logicielle (Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France). Récupéré de l'archive de publications électroniques de l'INSA : <http://theses.insa-lyon.fr>
- [2] KASMI, EBALARD, RICORDEL. De la radio matérielle à la radio logicielle: impact sur l'étude de la sécurité des réseaux sans (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information 51, Boulevard de la Tour-Maubourg 75700 Paris 07 SP, France). Disponible à : <https://www.ssi.gouv.fr>
- [3] LESCHHORN, BUCHIN. (2004). Radios logicielles – vue d'ensemble et aspects matériels (1) (Actualités de Rohde & Schwarz, No 182) Disponible à : <https://cdn.rohde-schwarz.com>
- [4] LESCHHORN, BUCHIN. (2004). Radios logicielles – Aspects logiciels et perspectives (2) (Actualités de Rohde & Schwarz, No 183). Disponible à : <https://cdn.rohde-schwarz.com>
- [5] HEINZELMANN, La Software Defined Radio: le circuit matériel remplacé par un logiciel (La Revue POLYTECHNIQUE N° 1828 – 10/17, Haute école spécialisée bernoise) Disponible à : <https://www.precisionwave.com>
- [6] DEPERIERS. (2017). Introduction au Software Defined Radio (SDR). Consulté en Mars 2019, du blogue de l'auteur : <https://www.securityinsider-wavestone.com/2018/03/introduction-au-software-defined-radio.html>
- [7] BARTHOD, C. (2014). Présentation et mise oeuvre du SDR “Software Radio” ou Radio Logicielle. Hewlett-Packard Development Company, L.P. Disponible à : <https://www.r-e-f.org>
- [8] SYLVAIN. La radio logicielle : quelque éléments techniques. Disponible à : <http://f6kgl-f5kff.fr>
- [9] NEKRAOUI, DEFRANCE, BERNIER. (2014). Etude d'un émetteur-récepteur haute fréquence à haut débit. Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°28, Bruxelles. Disponible à : <http://www.isilf.be>
- [10] PILLOU J.F.(2008) .Réseaux sans fil - Wireless Networks. Disponible à : <https://www.commentcamarche.net>

- [11] RTL-SDR (RTL2832U) and software defined radio news and projects, About SDR. Disponible à : <https://www.rtl-sdr.com>
- [12] BENMAMMAR, B. (2012). Présentation de la radio cognitive. 3^e cycle cel-00680189. Récupéré des archives ouvertes de HAL : <https://cel.archives-ouvertes.fr>
- [13] Récepteur RTL-SDR. Disponible à : <https://www.passion-radio.fr>
- [14] What is GNU RADIO. (2019). Disponible à : <https://www.gnuradio.org>
- [15] DROOGENBROECK, M,V. (2005). Modulation d'amplitude. Institut Montefiore – Université de Liège. Disponible à : <http://www.telecom.ulg.ac.be>
- [16] DROOGENBROECK, M,V. (2004). Modulation de fréquence. Institut Montefiore – Université de Liège. Disponible à : <http://www.telecom.ulg.ac.be>
- [17] KOLUMBAN, G. (1998). Demodulation of AM signals. Departement of Electronic and Information Engineering. Disponible à : <http://educyclopedia.karadimov.info/>
- [18] Académie Nice. Modulation d'amplitude et de fréquence. Consulté en juin 2019. Disponible à : www.ac-nice.fr
- [19] MULLER, J, P. (2009). BS2SE – Physique appliquée. Disponible à : <https://www.academia.edu>
- [20] GIMENES, C. (2014). Communications analogiques. Disponible à : <http://claude-gimenes.fr>
- [21] Digital Communication - Amplitude Shift Keying. Consulté en juin 2019. Disponible à : <https://www.tutorialspoint.com>
- [22] GOTT. Chapter 11 ASK modulator. Disponible à : <http://elektro.undip.ac.id> consulté en juin 2019.
- [23] ASK Advantages ASK disadvantages Amplitude Shift Keying. Disponible à : <https://www.rfwireless-world.com>. Consulté en juin 2019.
- [24] Chapitre 2 communications numériques. Disponible à : <http://docplayer.fr> Consulté en juin 2019.

- [25] SINGH, K, A. [EPOV CHANNEL]. (2018, 2 Octobre). LECT-45: ASK - Signal Constellation diagram, PSD & Transmission Bandwith. Récupéré de : <https://www.youtube.com/watch?v=S5QdwVBChLs>
- [26] OTTAWA. Modulation et Démodulation des signaux FM [Diaporama]. Disponible à : <https://xdocs.net/documents/document-5cf57c6ec0ecc>
- [27] GOTT. Chapter 12 ASK demodulator. Disponible à : <http://elektro.undip.ac.id> consulté en juin 2019.

La radio définie par logiciel RTL-SDR (Software Defined Radio) est une solution pour le manque de flexibilité de changement de paramètres Radio, donc une partie importante du matériel est implémentée en logiciel, elle utilise des circuits numériques programmables pour effectuer le traitement du signal.

Ce dispositif permet l'écoute et l'analyse spectro-temporelle des signaux radiofréquences. Dans notre PFE nous avons exploité une clé RTL-SDR pour faire un scan de fréquences de quelques signaux radio-fréquences à l'aide du logiciel de développement GNU Radio grâce à sa facilité de correction d'erreurs et de configurations de ces éléments constitutifs.

Les résultats obtenus assurent l'efficacité et la bonne qualité de réception de signaux de la RTL-SDR.

Abstract

Software defined radio RTL-SDR (Software Defined Radio) is a solution for the lack of flexibility of Radio parameter change, so a large part of the hardware is implemented in software, it uses programmable digital circuits to perform the signal processing .

This device allows the listening and the spectro-temporal analysis of the radiofrequency signals.

In our graduation project we have exploited a RTL-SDR key to make a frequency scan of some radio-frequency signals using GNU Radio development software thanks to its ease of error correction and configuration of these constituent elements.

The results obtained ensure the efficiency and the good reception quality of RTL-SDR signals.

ملخص

الراديو المعرف بالبرمجيات هو حل لعدم وجود مرونة في تغيير خصائص الراديو. لذلك تم دمج جزء كبير من عناصر المعالجة الخاصة بالجهاز في خصائص البرنامج المعالج.

يقوم الجهاز باستعمال الدوائر الرقمية القابلة للبرمجة لاجراء معالجة للاشارات الرقمية, يسمح هذا الجهاز بالاستماع والتحليل الطيفي الزمني لاشارات تردد الراديو,

في مشروعنا النهائي قمنا باستغلال جهاز الراديو المعرف بالبرمجيات لاجراء مسح لبعض اشارات التردد اللاسلكي بالاستعانة ببرنامج التطوير "جنو راديو", بسبب سهولة تصحيحه للأخطاء واعادة تفعيل عناصره المكونة.

النتائج التي توصلنا اليها تؤكد فعالية وجودة استقبال هذا الجهاز لاشارات الراديو الترددية.