

TABLE DES MAIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	ix
CHAPITRE I.....	1
INTRODUCTION	1
1.1 Travaux précédents	2
1.2 Contenu du mémoire.....	4
CHAPITRE II	5
LA PLATEFORME SDR.....	5
2.1 Radio définie par logiciel (SDR)	5
2.2 Environnements SDR.....	5
2.2.1 SCA (Software Communications Architecture).....	6
2.2.2 Communications Research Center's (SCARI).....	8
2.2.3 OSSIE: SCA-Based Open Source Software Defined Radio	9
2.3 GNU Radio	10
2.3.1 GNU Radio Companion (GRC).....	11
2.4 Matériel.....	13
2.4.1 Universal Software Radio Peripheral (USRP)	13
2.4.2 USB 2.0 Controller	15
2.4.3 ADC (Convertisseur analogique numérique).....	15
2.4.4 DAC (Convertisseur numérique-analogique)	15
2.4.5 PGA (Amplificateur à gain programmable).....	16

2.4.6	Cartes Filles	16
CHAPITRE III		20
APPROCHE PROPOSÉE.....		20
3.1	Introduction.....	20
3.2	Gestion du spectre.....	20
3.2.1	Normes	22
3.2.2	Interface utilisateur	23
3.2.3	Sécurité de Communications	23
3.2.4	Services des données.....	24
3.2.5	Interopérabilité.....	24
3.3	Caractéristiques d'une station de base SDR.....	25
3.3.1	Multi-Bandes.....	25
3.3.2	Multi-Canaux	26
3.3.3	Multi-Modes	26
3.3.4	Multi-Débits	26
3.3.5	Multi-Bandes Passantes	26
3.4	Implémentation des plusieurs modes	27
3.4.1	Récepteur radio FM	28
3.4.2	Répéteur FRS	29
3.4.3	Répéteur PMR.....	30
3.4.4	Récepteur Apco25.....	31
3.4.4.1	Phases de P25.....	33
3.4.4.2	Fonctionnement de P25.....	34
3.4.4.3	Implémentation de P25	35

3.5	Adaptation de l'OpenBTS au système multi-modes	38
3.5.1	Architecture du système GSM.....	38
3.5.2	System d'authentification utilisé	40
3.5.3	Configuration de serveur Asterisk	41
3.5.4	Déploiement de station de base OpenBTS.....	43
3.5.4.1	Chaîne RF	43
CHAPITRE IV		50
TRANSFORMATION DES MODES AVEC SIGNALISATION.....		50
4.1	Introduction.....	50
4.2	Transformation dans la couche physique.....	50
4.2.1	Passerelle radio FM -> FRS	53
4.2.2	Passerelle FRS-PMR.....	54
4.3	Transformation dans la couche application.....	55
4.3.1	Méthode de connexion GNU radio-Asterisk.....	57
4.3.2	Étapes d'implémentations	57
4.4	Bilan.....	60
CHAPITRE V		61
PERFORMANCE DU SYSTÈME PROPOSÉ.....		61
5.1	Introduction.....	61
5.2	Capacité du système.....	61
5.3	Capacité d'OpenBTS	62
5.4	Latence dans le système.....	63
5.5	Limitation de l'USRP	64
5.6	Limitation de l'OpenBTS.....	65

CHAPITRE VI.....	66
CONCLUSION.....	66
BIBLIOGRAPHIE.....	67
ANNEXES.....	69
ANNEXE A: Caractéristiques d'USRP1.....	69
ANNEXE B: Caractéristiques de la carte fille RFX900	71
ANNEXE C: Caractéristiques de l'amplificateur de puissance MPA-0925	72
ANNEXE D: Caractéristiques de l'amplificateur à faible bruit LNA-1000	76
ANNEXE E: Caractéristiques de duplexeur AB832B447.....	79
ANNEXE F: Caractéristiques de l'antenne 288-PW	80

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1: Schéma général de la SCA [2].....	8
Figure 2.2: Schéma de forme d'onde et la constellation de signal in ALF [12]	10
Figure 2.3: Interface graphique de Gnu Radio.....	11
Figure 2.4: Paramètres du bloc générateur de signaux.	12
Figure 2.5: Fichier GRC sous forme XML [3]	13
Figure 2.6: USRP et Hôte	14
Figure 2.7: Borde principale de USRP [4].....	14
Figure 3.1: Schéma global de la station de base proposée.....	27
Figure 3.2: Récepteur FM sur GNU Radio	28
Figure 3.4: Répéteur FRS sur GNU Radio	29
Figure 3.5: Répéteur PMR sur GNU Radio	31
Figure 3.6: Principe des fonctions du décodage d'un signal P25 [6].....	36
Figure 3.7: Signal P25 [6].....	36
Figure 3.8: Signal P25 filtré [6].....	37
Figure 3.9: Forme d'un signal P25[6].....	37
Figure 3.10: Noyau GSM[7].....	39
Figure 3.11: Schéma fonctionnel d'une OpenBTS [8]	41
Figure 3.12: Chaîne RF de OpenBTS[9]	43

Figure 3.13: Chaîne de réception d'OpenBTS.....	44
Figure 3.14: Chaîne d'émission d'OpenBTS.....	45
Figure 4.1: Transformation Analogique ↔ Analogique.....	52
Figure 4.2: Passerelle FM-FRS.....	53
Figure 4.3: Passerelle FRS-PMR.....	54
Figure 4.4: Signalisation avec le protocole SIP.....	55
Figure 4.5: Audio Jackplug.....	57
Figure 4.6: Interface Jack.....	59
Figure 4.7: Connections Jack Audio.....	59
Figure 5.1: Latence du système avec un débit de 20 kb/s.....	63
Figure 5.2: Latence de système avec un débit de 200 kb/s.....	64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1: Les versions des cartes mères USRP	17
Tableau 2.2: Les caractéristiques des différentes cartes filles pour l'USRP.....	18
Tableau 2.3: La liste des cartes filles émettrices-réceptrices	19
Tableau 3.1: Bandes allouées à la sécurité publique [5].....	21
Tableau 3.2: Matériels utilisés pour un récepteur FM	28
Tableau 3.3: Matériels utilisés pour un répéteur FRS.....	29
Tableau 3.4: Matériels utilisés pour un répéteur PMR	31
Tableau 3.5: Caractéristiques de LNA de RF Bay : LNA-1000 [D].....	48
Tableau 3.6: Caractéristiques de LNA de RF Bay : MPA-925 [C].....	49
Tableau 3.7: Caractéristiques de duplexeur de Anatech Electronics AB832B477 [E]	49
Tableau 4.1: Exemple de destinations selon la tonalité CTSS.....	51
Tableau 4.2: Matériels utilisés pour l'exemple FM->FRS	53
Tableau 4.3: Matériels utilisées pour les chaînes FRS-PMR.....	55
Tableau 4.4: Exemple de destinations selon la tonalité CTSS et l'extension.	56
Tableau 5.1: Capacité du système des radios FRS-PMR.....	62
Tableau 5.2: Capacité de l'Open BTS.....	62

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

GSM: Global System for Mobile Communications.

P25: Project 25.

APCO25: Association of Public Safety Communication Officials – Project 25.

SDR: Software Defined Radio.

FRS: Family Radio Service.

PMR: Professional Mobile Radio.

RF: Radio Frequency.

GPP: General Purpose Processor.

FPGA: Field-Programmable Gate Array.

ASIC: Application Specific Integrated Circuits.

SCA: Software Communications Architecture.

JPO: Joint Program Office.

DOD: Department of Defense.

JTRS: Joint Tactical Radio System.

OSSIE: Open Source SCA Implementation Embedded.

CORBA: Common Object Request Broker Architecture.

RPC: Remote Procedure Call.

OS: Operating System.

POSIX: Portable Operating System Interface.

IDL: Interface Definition Language.

API: Application Programming Interface.

RI: Reference Implementation.

CRC: Communications Research Center.

SDRF: Software Development Research Foundation.

XML: Extensible Markup Language.

GRC: GNU Radio Companion.

USRP: Universal Software Radio Peripheral.

USB: Universal Serial Bus.

ADC: Analog-to-Digital Converter.

DAC: Digital-to-Analog Converter.

DC: Direct Current.

PGA: Programmable Gain Amplifier.

TX: Transmission.

RX: Reception.

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.

MIMO: Multiple Input Multiple Outputs.

GPS: Global Positioning System.

PCS: Personal Communications Service.

DECT: Digital Enhanced Cordless Telecommunications.

I/Q: In-phase/Quadrature.

PLL: Phase Locked Loop.

ISM: Industrial, Scientific and Medical.

UNII: Unlicensed National Information Infrastructure.

VHF: Very High Frequency.

UHF: Ultra High Frequency.

LMR: Land Mobile Radio.

DES: Data Encryption Standard.

AM: Amplitude Modulation.

FM: Frequency Modulation.

WFM: Wideband Frequency Modulation.

NBFM: Narrow Band Frequency Modulation.

FSK: Frequency Shift Keying.

C4FM: Constant Envelope 4-Level Frequency Modulation.

GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying.

DQPSK: Differential Quadrature Phase Shift Keying.

CDMA: Code Division Multiple Access.

NASTD: National Association of State Telecommunications Directors.

NCS: National Communications System.

TIA: Telecommunications Industry Association.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

TDMA: Time Division Multiple Access.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute.

TIA: Telecommunications Industry Association.

MESA: Mobility for Emergency and Safety Applications.

CTCSS: Continuous Tone-Coded Squelch System.

DCS: Digital Code Squelch.

IMBE: Improved Multi-Band Excitation.

TGID: Talk Groups Identification.

NAC: Network Access Codes.

BTS: Base Transceiver Station.

BSC: Base Station Subsystem.

MSC: Network Switching Subsystem.

VLR: Visitor Location Register.

HLR: Home Location Register.

AUC: Authentication Centre.

PSTN: Public Switched Telephone Network.

SRES: Signed Response.

BSS: Base Station Subsystem.

SIM: Subscriber Identity Module.

ASC: Automatic Squelch Control.

SIP: Session Initiation Protocol.

LNA: Low Noise Amplifier.

BPF: Band Bandpass Filter.

PA: Power Amplifier.

EIRP: Equivalent Isotropically Radiated Power.

GRC: GNU Radio Companion.

ALSA: Advanced Linux Sound Architecture.

RAM: Random Access Memory.

ITU: International Telecommunication Union.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Les communications sans fil continuent de se développer et leur utilisation augmente sans cesse, la téléphonie cellulaire et les radios des services d'urgence font partie de ces énormes systèmes de réseaux sans fil, mais il reste toujours des zones rurales ou éloignées qui sont caractérisées par de faibles densités d'utilisation avec des zones où il n'y a aucune couverture de communication.

Le déploiement des réseaux cellulaires dans les zones lointaines où il y a une faible densité de population coûte très cher par rapport au nombre d'utilisateurs, la grande partie de ce coût étant lié à la complexité des infrastructures requises et à la disponibilité de source d'énergie à proximité. Ces conditions engendrent la nécessité de simplifier l'infrastructure et en même temps justifie la possibilité de diminuer le coût d'énergie par l'utilisation des sources renouvelables comme l'énergie solaire au lieu d'utiliser des générateurs alimentés au diesel.

La deuxième problématique est l'interopérabilité entre les radios de sécurité publique, dans les cas d'urgences (scénarios de désastres, etc..), les répondants de différentes agences de sécurité (police, ambulance, les militaires...), toutes ces personnes qui ne peuvent pas communiquer directement entre elles parce qu'elles utilisent des radios sur différentes bandes de fréquences et utilisant différentes technologies incompatibles les unes avec les autres.

La problématique de ce travail de recherche est de mettre en place une station de base à faible encombrement et à faible coût fonctionnant indifféremment avec différents modes de communications. Dans le cadre de ce travail, nous avons retenu les modes suivants : GSM, walkie-talkie et APCO 25. La station devra servir en priorité les applications d'urgences dans

des zones rurales ou éloignées, tout en assurant les applications de communications traditionnelles. De plus, elle devra prendre en considération l'interopérabilité pour assurer la communication entre ces modes hétérogènes.

1.1 Travaux précédents

Le but final des réseaux de sécurité public est d'assurer les communications sécurisées qui sont accessibles à tout moment et n'importe où avec le service d'interopérabilité et l'adaptabilité maximale, pour atteindre cet objectif il faut réaliser l'interopérabilité entre les modes radio qui ont des différences comme la fréquence porteuse, la modulation, le protocole de signalisation et autres paramètres.

Il existe deux solutions pour le problème de l'interopérabilité: le premier exige que tous les systèmes de communications se conforment à une norme commune, la deuxième solution propose que chaque nœud de communication soit capable d'accueillir tous les normes existantes. Un bon exemple qui combine les deux idées est le Projet 25 (P25). P25 introduit des définitions spécifiques pour les interfaces critiques du système, qui comprennent l'Air Common Interface (CAI), l'interface du sous-système Inter-RF (ISSI), l'interface pour le PSTN, et l'interface pour les connections réseaux (tels que TCP/IP). Les principaux avantages offerts par la technologie P25 comprennent l'interopérabilité, compatibilité avec les standards analogiques radios FM, la capacité de chiffrement, l'amélioration de la qualité audio et l'efficacité du spectre. Actuellement, l'ISSI et d'autres interfaces sont encore des spécifications en cours de développement.

La solution IP est une méthode alternative qui permet l'interopérabilité pour les réseaux de sécurité publique. Le protocole standard (TCP/IP) a été utilisé avec succès dans l'Internet pour fournir l'interconnexion des réseaux informatiques dans le monde entier. En raison de sa popularité, la technologie IP est devenue un choix pratique dans la conception de systèmes interopérables. Le protocole Internet permet aux différents utilisateurs ayant de radio ou un autre système informatique de s'interconnecter les uns avec les autres par l'interface réseau à un niveau commun. L'idée de base est la suivante: chacun des réseaux de communication utilise un élément (par exemple passerelle) qui traduit les données sortantes en trafic IP pour

la transmission via l'Internet et de convertir les données entrantes des trafics IP vers le format compatible avec le réseau local. Le reste du réseau effectue ensuite l'ensemble des fonctions de transport sans modification. Ainsi, les termes tels que Voice-over-IP (VoIP) et Radio-over-IP (RoIP) est venu sur la scène. En outre, les systèmes IP offrent des avantages, y compris l'interopérabilité, l'évolutivité, la flexibilité et la capacité de l'évolution en douceur vers les prochaines générations des réseaux, par conséquent, un exemple d'implémentation pratique de cette solution est: interopérabilité IP de Cisco et collaboration du système (IPICS) a été commercialisé comme une solution complète, facile à utiliser, évolutive pour l'interopérabilité des communications.

La radio Logicielle ou Software Defined Radio (SDR), est une autre technologie importante. La radio logicielle a été inventée par Joseph Mitola en 1991 pour «passer la radio numérique à une radio multi-bandes multi-modes défini par logiciel où 80% de la fonctionnalité est fourni dans le logiciel, par rapport à 80% fourni par matériel dans les radios traditionnels. L'avantage principal de SDR est sa reconfigurabilité des caractéristiques de fonctionnement, pas seulement des paramètres de la couche physique, mais aussi le traitement de l'information au niveau des couches supérieures, et c'est juste par changements dans le logiciel. Cette capacité permet aux nœuds de communication de commuter entre les différents modes existantes et être mis à jour pour accueillir les nouvelles modes et normes de future, et donc facilite l'interopérabilité entre les différents systèmes de radio universel et surtout dans les systèmes de communication de sécurité publics.

Certaines entreprises industrielles ont fabriqué des radios basés sur SDR. Par exemple, au début de 2008, Thales introduit le radio LMR Liberty qui est multi-bandes et définit par logiciel pour les organismes de gouvernement et pour les réseaux de sécurité publique. Au début de 2009, la radio Liberty est devenue le premier radio aux États-Unis approuvé par Federal Communications Commission (FCC) et qui est une radio multi-bandes couvrant tous les bandes de sécurité publique (136-174 MHz, 380-520 MHz, 700 MHz, et 800 MHz). Ses modes de fonctionnement comprennent les radios P25-classiques, P25-à ressources partagées, et à l'héritage analogique. Ce produit a fait la preuve de la faisabilité de l'idée de Joseph Mitola de la radio logicielle.

1.2 Contenu du mémoire

Dans le premier chapitre de ce mémoire, on réalise l'état de l'art des radios définies par logiciels (SDR) et on explique quelques-unes des plateformes de développement les plus importantes. Le deuxième chapitre traite de la problématique des radios utilisées par la sécurité publique et les réseaux cellulaires dans les zones lointains et dans les cas d'urgence. Notre approche propose l'implantation de plusieurs modes radio sur une station multi-modes multi-bandes. Au troisième, on décrit en détail la solution d'une station de base qui peut faire une passerelle entre plusieurs modes (FRS, PMR, P25 et GSM). Au quatrième chapitre, on fait l'étude de la performance de système et des paramètres importants comme la capacité et on discute les limitations de notre solution.

Finalement, on présente au chapitre six une conclusion globale sur nos travaux et on y indique les axes intéressants pour la poursuite des travaux dans ce domaine.

CHAPITRE II

LA PLATEFORME SDR

2.1 Radio définie par logiciel (SDR)

La radio définie par logiciel (Software Defined Radio- SDR) est une technique qui permet d'obtenir le signal radio le plus proche possible des besoins du système et de fournir ce message à l'antenne pour qu'il soit transmis par la voie hertzienne. Il convertit donc les problèmes de matérielle radio en problèmes de logiciels.

La partie matérielle fait l'interface entre la bande de base et la partie RF. La forme d'onde d'un signal transmis est entièrement générée par le logiciel, ainsi que le signal reçu qui est entièrement traité et démodulé par les algorithmes logiciels. En SDR, la puissance de traitement nécessaire pour le traitement du signal provient d'un système qui contient des composants tels que des processeurs à usage général (GPP), des processeurs de signaux numériques (DSP), des FPGA (Field Programmable Gate Arrays) ou des ASIC (Application Specific Integrated Circuits) et plusieurs autres possibilités.

2.2 Environnements SDR

L'implantation d'une radio logicielle est actuellement réalisable sur de nombreuses plateformes de développement. Nous présentons ici plusieurs environnements de radio logicielle, avec chacun leurs spécificités.

2.2.1 SCA (Software Communications Architecture)

L'architecture ouverte SCA est parrainée par le Bureau du programme interarmées (Joint Program Office JPO) du Département de la Défense des États-Unis (DoD) dans le cadre du programme de système mixte de radio tactique (Joint Tactical Radio System- JTRS). La SCA est une architecture relativement complexe destinée à apporter un soutien aux applications sécurisées de traitement du signal et exécutée en matériels hétérogènes et distribués.

En outre, plusieurs solutions sont aujourd'hui disponibles et elles offrent un soutien pour les systèmes utilisant cette architecture, dont certains sont disponibles publiquement, comme OSSIE Virginia Tech ou Communications Research Center (SCARI)], fournissant ainsi au concepteur un large éventail de possibilités et un soutien croissant de base. La SCA est une architecture de gestion des composants et elle fournit l'infrastructure requise pour créer, installer, gérer et désinstaller les formes d'ondes, ainsi que la capacité de contrôler et gérer le matériel et d'interagir avec des services externes à travers un ensemble d'interfaces compatibles et des structures.

Il y a cependant certaines limites claires à ce qu'il est possible de faire avec une architecture SCA. Par exemple, la CSA ne prévoit pas un tel soutien en temps réel, mais seulement des garanties de temps de latence maximal et une gestion des communications. En outre, la SCA ne précise pas la manière dont les composantes doivent être mises en œuvre, si ce matériel devra soutenir ce type de fonctionnalité, ou de toute stratégie de déploiement autre que l'utilisateur ou un développeur peut vouloir suivre. La SCA fournit un ensemble de règles de base pour la gestion du logiciel sur un système, en laissant un grand nombre des décisions de conception au développeur. Une telle approche offre une plus grande probabilité que le développeur sera en mesure de répondre aux besoins inhérents du système.

La SCA est basée sur une technologie sous-jacente pour être en mesure de remplir deux objectifs fondamentaux, à savoir, la portabilité du code et la réutilisation. Afin de maintenir une interface cohérente, la SCA utilise le Common Object Request Broker Architecture (CORBA) dans le cadre de son middleware. CORBA est un logiciel qui permet à un développeur d'effectuer des appels de procédure distante (RPC) sur des objets comme s'ils résidaient dans l'espace mémoire local.

Ces dernières années, les implémentations de CORBA sont apparues sur DSP et FPGA, mais, traditionnellement, CORBA a été écrit pour GPP (General Purpose Processor). En outre, les appels systèmes sont effectués grâce à un système d'exploitation (OS), nécessitant un système d'exploitation de mise en œuvre sur la plate-forme. Dans le cas de la SCA, l'OS de choix est un POSIX PSI-52 OS -conforme, mais CORBA ne se limite pas à un tel OS. Son accent GPP-centrique conduit à un flux de l'SCA, comme le montre la figure 2.1. Tel qu'illustré sur cette figure, le système d'exploitation est le centre de la mise en œuvre de SCA, ce qui implique, mais ne nécessite pas, l'utilisation d'un GPP. Différentes pièces de la SCA sont liées à cette structure par CORBA et Interface Definition Language (IDL). IDL est la langue utilisée par CORBA pour décrire les interfaces des composants, et il fait partie intégrante de CORBA.

Les différentes pièces du système sont attachées ensemble en utilisant IDL (Interface Definition Language). Un aspect de la SCA pas évident dans la figure 2.1, c'est que CORBA permet l'indépendance des services aux implémentations; il peut donc y avoir plus d'un processeur à la base. Au-delà de cette contrainte de l'architecture, les pièces réelles qui constituent le fonctionnement du système SCA, à savoir la SCA et les logiciels existants, le matériel de traitement incompatible avec CORBA, la sécurité, la gestion logicielle et le système de fichiers intégrés.

La SCA est divisée en quatre parties : le cadre (Framework), les profils, les API (Application programming interface) et les formes d'ondes. Le cadre est en outre divisé en trois parties : les composants de base, le contrôle de cadre et les services. La figure 2.1 est une représentation des différentes classes et de leurs correspondants qui en font partie. La SCA fait suite à une composante basée conception (design), donc la totalité de l'infrastructure tourne autour de l'objectif de la création, l'installation, la gestion et la désinstallation des composants qui constituent une forme d'onde particulière.

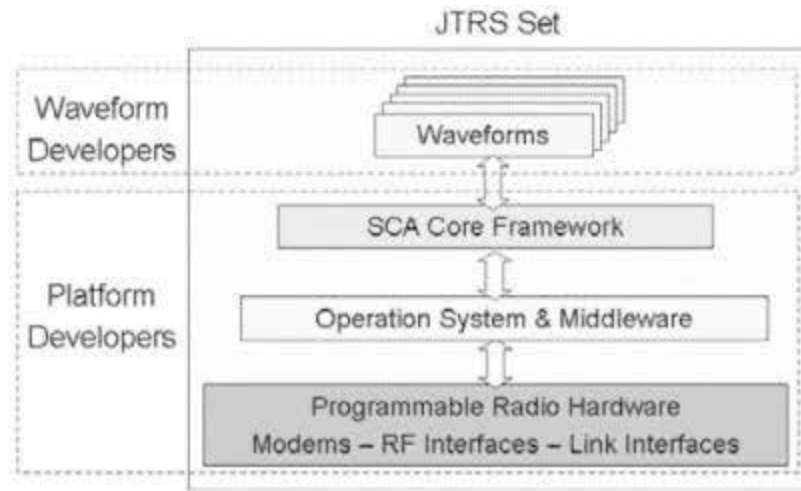


Figure 2.1: Schéma général de la SCA [2]

2.2.2 Communications Research Center's (SCARI)

La SCA se définit comme un ensemble de normes soumises à de nombreuses interprétations qui peuvent aisément limiter l'interopérabilité entre différentes implémentations. Ainsi, il est devenu nécessaire de développer une implémentation de référence (RI) et de définir le comportement, de ces normes et codifier les aspects techniques.

Le CRC (Communications Research Center) a fait appel une première fois au SDRF (Software Development Research Foundation) pour développer une implémentation de référence (RI) de la SCA et d'en faire une source ouverte (open source) disponible sur son site Web. L'objectif de cette RI était de :

- Réduire le niveau d'ambiguïté des documents de spécification de la SCA
- Accroître le potentiel pour l'interopérabilité en permettant aux développeurs de personnaliser l'RI plutôt que de réécrire complètement l'architecture
- Améliorer la compréhension de l'architecture à travers un exemple
- Accélérer l'émergence de SDR par la disponibilité d'une mise en œuvre
- Réduire les coûts et les temps d'accès au marché de la SDR

L'implémentation open source, disponible en téléchargement gratuit, est écrit en Java, en lui donnant un certain nombre d'avantages par rapport aux langages plus conventionnels ou langues C + +. Java est une plate-forme indépendante de la langue, ce qui est un facteur important pour la diffusion et l'adoption de la mise en œuvre. Il offre également un haut niveau d'abstraction de programmation, ce qui simplifie et accélère l'écriture du code et minimise la prolifération de multiples implémentations indépendantes.

La référence fournit des composants obligatoires du cadre de base du SCA, ainsi que le support pour les fonctionnalités les plus utilisées, y compris des interfaces de service, cadres de base avec le profil du domaine XML, les outils associés pour utiliser la radio et de simples applications de forme d'ondes pour montrer le fonctionnement de la radio .

2.2.3 OSSIE: SCA-Based Open Source Software Defined Radio

OSSIE est une radio définie par logiciel en source ouverte (open source Software Defined Radio) basée sur l'effort de développement de Wireless Virginia Tech., Blacksburg, Va. OSSIE est principalement destiné à permettre la recherche et l'éducation en SDR et en communications sans fil. Le package logiciel comprend un noyau (core Framework) de SDR sur la base des JTRS (Architecture logicielle de communications SCA), des outils pour le développement rapide de composants SDR, des applications de formes d'onde, une bibliothèque évolutive de composants préconstruits et des applications de formes d'ondes. En outre, des exercices de laboratoire pour l'éducation en SDR et des formations mises au point en coopération avec la Naval Postgraduate School.

Les projets qui utilisent l'OSSIE sont :

- Cognitively Intrepid Radio Emergency Network (CIREN) (Wireless @ Virginia Tech)
- Cognitive Radio Testbed (Wireless @ Virginia Tech)
- Embedded SDR (Wireless @ Virginia Tech)

- Open Source Cognitive Radio (OSCR) (Laboratory for Telecommunication Sciences)
- Public Safety Radio (Wireless @ Virginia Tech)
- Rapid Prototyping Tools (Wireless @ Virginia Tech)
- SCA DSP Port for SDR Base Station (OSSIE_C64) (Wireless @ Virginia Tech)
- Test Equipment Integrating test equipment into SCA framework. (Wireless @ Virginia Tech)
- UHF Data Radio (Southwest Research Institute)

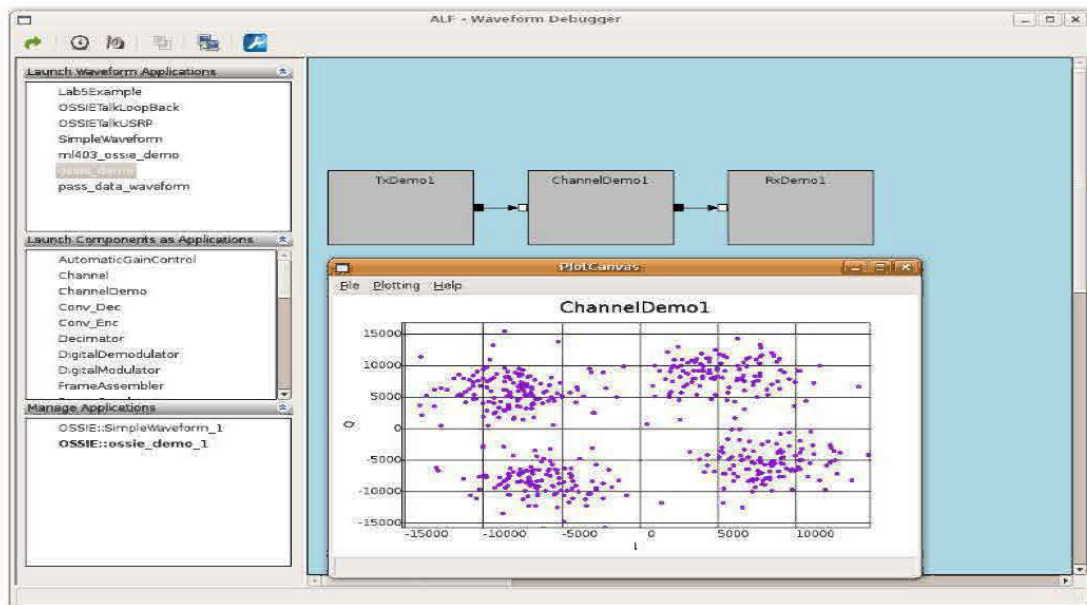


Figure 2.2: Schéma de forme d'onde et la constellation de signal in ALF [12]

2.3 GNU Radio

GNU Radio est une plateforme de développement de logiciels radios qui contient une collection des blocs de traitement du signal qui peuvent être utilisés pour des applications RF en temps réel. GNU radio peut aussi agir comme un logiciel autonome ou comme support (back-end) pour un périphérique matériel. GNU Radio est écrit en C++ et en Python, et les programmes sont compilés et exécutés sur des processeurs (GPP) et des systèmes

d'exploitation (par exemple Linux, Mac OSX et Windows). Typiquement, la programmation de plus haut niveau effectuée en GNU radio est écrite en Python (initialisation et contrôle pour les composants de traitement du signal) et tous les traitements sensibles au temps sont faites en C++.

2.3.1 GNU Radio Companion (GRC)

Il est plus facile à manipuler un flux d'informations sous une forme graphique. Alors GNU radio propose, avec son interface GRC, la possibilité de former un organigramme avec des blocs graphiques. Cette application offre plusieurs blocs prédéfinis, organisés en différents groupes, comme les sources de signaux, les destinations des signaux ainsi que des fonctions de modulation et de démodulation. La figure 2.3 présente l'interface principale de GRC.

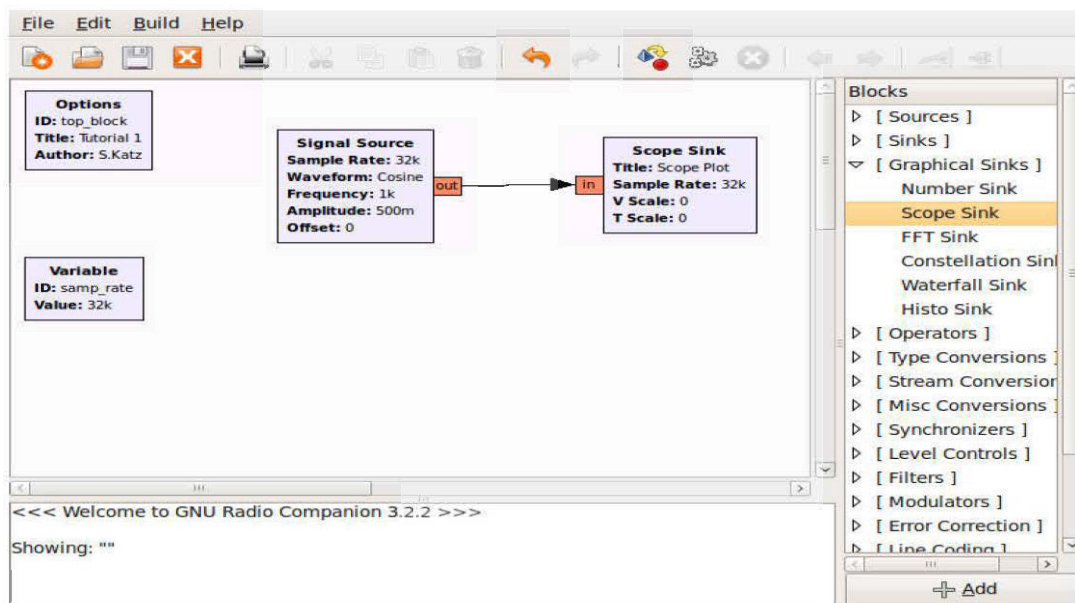


Figure 2.3: Interface graphique de Gnu Radio

On voit, dans la partie droite, une liste de blocs GNU radio représentés graphiquement; chaque bloc possède des paramètres à configurer. Dans le simple exemple ci-dessus, l'utilisateur établit un lien entre un bloc générateur de signaux et un bloc d'oscilloscopes. Le schéma suivant représente les paramètres de générateur de signaux :

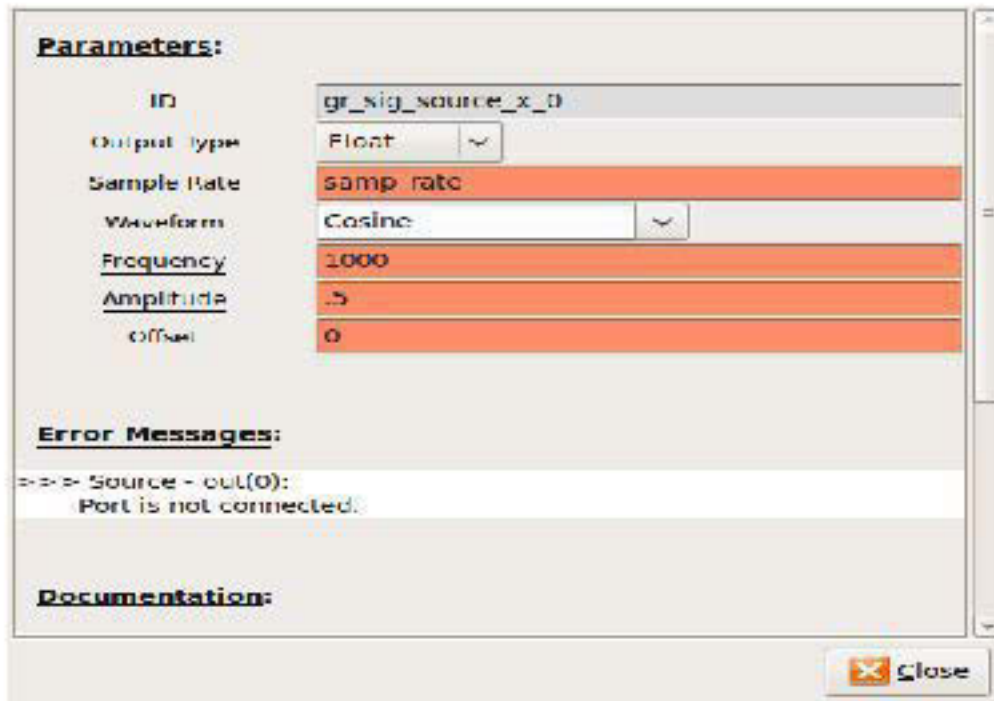


Figure 2.4: Paramètres du bloc générateur de signaux

- ID : chaque bloc possède un id différent à d'autres blocs.
- Output Type : définit le type de flux de données entre deux blocs liés comme (float, complex..)
- Sample Rate : fréquence d'échantillonnage
- Waveform : choisir la forme d'onde comme (cosinus, sinus, Triangulaire, carrée..)
- Frequency : choisir la fréquence de signal
- Amplitude : choisir l'amplitude de signal
- Offset : définir la phase (0 par défaut)

Le fichier GRC a une représentation XML :

```
<?xml version="1.0"?>
<block>
  <name>My Block Name</name>
  <key>my_package_my_block_ff</key>
  <category>Filters</category>
  <import>from gnuradio import my_package</import>
  <make>my_package.my_block_ff($param1, $param2)</make>
  <callback>set_param1($param1)</callback>
  <param>
    <name>Parameter 1</name>
    <key>param1</key>
    <type>real</type>
  </param>
  <param>
    <name>Parameter 2</name>
    <key>param2</key>
    <value>1</value>
    <type>int</type>
  </param>
  <sink>
    <name>in</name>
    <type>float</type>
  </sink>
  <source>
    <name>out</name>
    <type>float</type>
  </source>
  <source>
    <name>out</name>
    <type>float</type>
  </source>
</block>
```

Figure 2.5: Fichier GRC sous forme XML [3]

2.4 Matériel

2.4.1 Universal Software Radio Peripheral (USRP)

L'USRP est un dispositif RF avec une conception simple qui supporte une liste importante d'applications SDR. L'USRP nécessite que le traitement du signal se fasse sur un autre périphérique hôte lié par USB2.0 ou Ethernet.

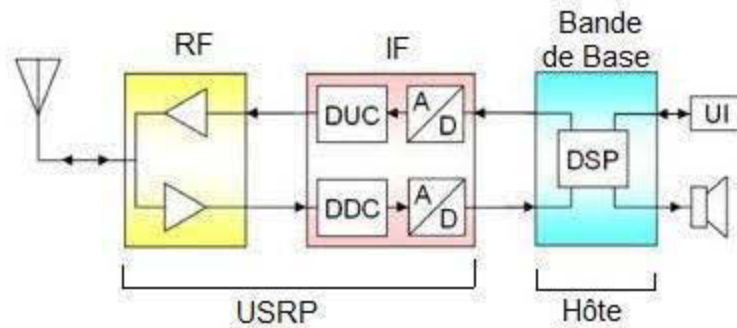


Figure 2.6: USRP et Hôte

La conception de l'USRP est totalement ouverte au public et elle contient de nombreux composants différents. La pièce centrale est la carte mère, qui contient deux convertisseurs analogiques numériques (A/D) et deux convertisseurs numériques analogiques (D/A), un FPGA utilisé pour la décimation, le filtrage, la conversion haut/bas, et un pilote USB 2.0 pour une connexion avec un hôte. La carte mère supporte une bande passante large (limitée par la bande passante de convertisseurs A/D et D/A) pour soutenir de différents modules RF. La figure 2. 7 montre la carte principale de l'USRP.

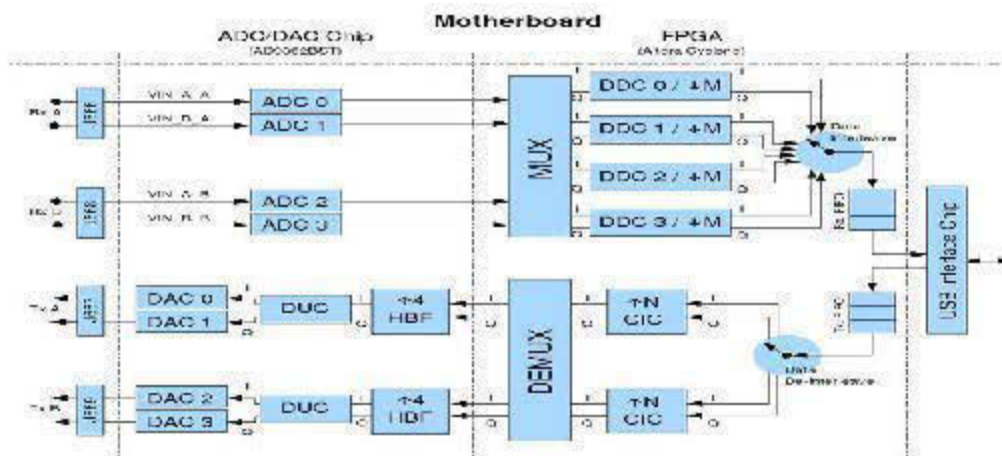


Figure 2.7: Borde principale de USRP [4]

2.4.2 USB 2.0 Controller

L'USB est utilisé pour connecter l'USRP à l'ordinateur, Le FPGA, à son tour, se connecte à une puce d'interface d'USB2 (l-Cypresse FX2) et sur l'ordinateur. Le USRP se connecte à l'ordinateur via une interface USB2 haute vitesse seulement et ne fonctionnera pas avec une interface USB1.1.

L'USB 2.0 offre un débit de données maximal de 32 Mo/s. La connexion USB a donc un impact sérieux sur la performance. La latence est en moyenne de 41,33 ms. De plus, le débit de données peut avoir une limitation.

2.4.3 ADC (Convertisseur analogique numérique)

Le convertisseur analogique-numérique (ADC) a pour fonction de numériser les signaux analogiques. Il est utilisé dans l'USRP pour recevoir des signaux radio. Il a 4 convertisseurs haute vitesse AD 12-bits. Le taux d'échantillonnage est 64 M-échantillons par seconde. En principe, il pourrait numériser une bande plus que 32 MHz. Donc il y a une limitation, car il n'est pas possible de recevoir des signaux sans aucune perte dans une bande passante plus grande que 32 MHz. Le 32 MHz est calculé selon l'utilisation classique du théorème de Nyquist.

2.4.4 DAC (Convertisseur numérique-analogique)

Le convertisseur numérique-analogique, convertit un signal numérique à un signal analogique. Il est utilisé dans l'USRP pour transmettre un signal radio analogique. Dans la voie de transmission, il y a 4 convertisseurs haut-débit 14-bits DA. La fréquence de l'horloge du DAC est de 128 MS/s, donc la fréquence de Nyquist est de 64MHz. La bande de fréquence utile est de donc de DC (courant continu) à environ 44 MHz. Donc il y a une limitation et, pour la transmission, il n'est pas possible d'envoyer des signaux sans perte si la bande passante est supérieure à 44 MHz.

2.4.5 PGA (Amplificateur à gain programmable)

Dans le trajet de réception, l'amplificateur à gain programmable est avant que des C/N pour amplifier, le cas échéant, le signal d'entrée pour utiliser toute la plage d'entrée de C/N, au cas où le signal soit faible. Le PGA peut atteindre jusqu'à 20 dB.

2.4.6 Cartes Filles

Les Cartes filles permettent d'utiliser l'USRP avec différents spectres de fréquences RF en émission et en réception. Il existe d'autres composants RF nécessaires pour recevoir sur différents spectres de fréquence. Il y a quatre fentes ; sur la carte mère, on peut brancher jusqu'à 2 cartes filles RX base et 2 cartes filles TX de base ou 2 cartes RFX. Il y a des fentes pour 2 Cartes filles TX, étiquetées TXA et TXB et 2 cartes filles RX, RXA et RXB. Chaque fente carte fille a accès à 2 des 4 convertisseurs haut-débits AD /DA (sorties du DAC pour TX, entrées de ADC pour RX). Il est alors possible de connecter plusieurs cartes filles sur l'USRP. Cela permet à l'USRP d'envoyer et de recevoir simultanément.

Chaque carte fille a une EEPROM I2C (24LC024 ou 24LC025) qui identifie la carte au système. Cela permet au logiciel hôte de configurer automatiquement le système correctement sur la base de la carte fille installée.

Chaque carte fille a une EEPROM I2C (24LC024 ou 24LC025) qui identifie la carte au système. Cela permet au logiciel hôte de configurer automatiquement le système correctement sur la base de la carte fille installée.

	USRP1	USRP2	USRP N200	USRP N210	USRP E100
Bande passante RF	8 MHz	50 MHz	50 MHz	50 MHz	32 MHz
Connexion à l'hôte	USB 2.0 (32 Mb/s half duplex)	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	100 Mbit Ethernet
ADC	12-bits 64 MS/s	14-bits 100 MS/s	14-bits 100 MS/s	14-bits 100 MS/s	12-bits 64 MS/s
DAC	14-bits 128 MS/s	16-bits 400 MS/s	16-bits 400 MS/s	16-bits 400 MS/s	14-bits 128 MS/s
FPGA	Altera Cyclone	Xilinx Spartan XC3S2000	Xilinx Spartan XC3SD1800A	Xilinx Spartan XC3SD3400A	Xilinx Spartan XC3SD1800A
MIMO	carte-mère possède deux slots carte-fille	Oui	Oui	Oui	?
Traitement en FPGA	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Autres	Solution la moins chère				applications embarquées

Tableau 2.1: Les versions des cartes mères USRP

Le tableau 2.2 présente les différentes cartes filles émettrices ou réceptrices simples :

Carte Fille	Type	Fréquences	Applications	Autres
BasicTX	émetteur	1-250 MHz	Interface IF	Pas de mélangeurs, filtres ou amplificateurs
BasicRX	récepteur	1-250 MHz	Interface IF	Pas de mélangeurs, filtres ou amplificateurs
LFTX	émetteur	DC-30 MHz	Interface IF	Filtre passe pas à 30MHz
LFrx	récepteur	DC-30 MHz	Interface IF	Filtre passe pas à 30MHz

T V R X 2	récepteur	50-860MHZ	TV- Sécurité Public- mobiles terrestres- périphériques sans licence à faible puissance- réseaux de capteurs sans fil- et six bandes radioamateurs.	
D B S R X 2	récepteur	800-2400MHZ	GPS et Galileo - Cellulaire et PCS- radioastronomie-DECT...	-Filtre de canal (1-60MHZ) contrôlé par logiciel -Support MIMO

Tableau 2.2: Les caractéristiques des différentes cartes filles pour l'USRP

Caractéristiques générales des cartes filles émettrices-réceptrices :

- Conception synchrone entièrement et support de MIMO
- Architecture I/Q
- Full-duplex (sauf XCVR2450)
- Commutation émission-transmission interne
- Émission et réception sur le même connecteur TX/RX ou utilisation de port auxiliaire RX2 pour la réception
- Toutes les fonctions sont contrôlées par logiciel ou FPGA
- 16 lignes numériques entrées/sorties pour contrôler des périphériques externes tels que les commutateurs d'antennes
- Réglage de Puissance d'émetteur et gain du récepteur
- Verrouillage de temps moins que 200 us de PLL
- La bande passante de transmission et de réception égale 30 MHz

Le tableau 2.3 illustre la liste des différentes cartes filles Émetteurs-récepteurs, la bande de fréquence, de puissance et les applications de chaque carte.

Carte Fille	Fréquences	Puissance	Applications	Autres
WB X	50-2200 MHz	30- 100 mW	TV-Sécurité Public-mobiles terrestres-périphériques sans licence à faible puissance- réseaux de capteurs sans fil-cellulaires- et six bandes radioamateurs	Deux synthétiseurs pour TX et RX indépendants
S B X	400-4400 MHz	30-100 mW	Cellulaire-WiFi-WiMax-Bande S-Bande ISM 2.4GHZ..	Deux synthétiseurs pour TX et RX indépendants
XCVR 2450	2.4-2.5 GHz, et 4.9-5.9 GHz	100 mW	Cellulaire-bande ISM 2.4GHZ-Sécurité public-UNII- bandes sans fil Japonaise...	Un seul synthétiseur partagé pour TX et RX
RFX400	400-500 MHz	100 mW	Securité public ...	Deux synthétiseurs pour TX et RX indépendants
R F X 9 0 0	750-1050 MHz	200 mW	Cellulaire- pagination-radio bidirectionnelle-Bande ISM 902-928 MHz	Deux synthétiseurs pour TX et RX indépendants
R F X 1 2 0 0	1150-1450 MHz	200 mW	Navigation-Satellite- bandes amateurs.	Deux synthétiseurs pour TX et RX indépendants
R F X 1 8 0 0	1.5-2.1 GHz	100 mW	DECT- US DECT et PCS (bandes sans licences inclus)	Deux synthétiseurs pour TX et RX indépendants
R F X 2 4 0 0	2.3-2.9 GHz	50 mW	Bande ISM 2.4GHZ	-Deux synthétiseurs pour TX et RX indépendants -Filtre passe-bande entre 2400-2483 MHz

Tableau 2. 3: La liste des cartes filles émettrices-réceptrices

CHAPITRE III

APPROCHE PROPOSÉE

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, on donne les détails des exigences d'une station de base dans un environnement de sécurité publique et dans les zones lointaines et par la suite, on explique notre proposition.

On y explique également les principales caractéristiques de la technologie SDR applicables à un environnement de sécurité publique. On se concentre sur la description des domaines suivants, soulignant les avantages et les risques pour chacun.

3.2 Gestion du spectre

De grands progrès ont été accomplis dans le développement de la technologie SDR et c'est seulement maintenant que la question de gestion du spectre commence à être prise sérieusement en compte. Alors que les implémentations de SDR actuelles et à court terme permettent des changements faciles aux caractéristiques fondamentales de la radio (par exemple, la puissance de transmission, les systèmes de chiffrement, le type de modulation) grâce à des changements de logiciels, le développement d'un dispositif SDR adaptable qui étudie le spectre et détermine automatiquement quelle fréquence et d'autres types de caractéristiques de radio qu'il doit utiliser pour communiquer demeure encore un objectif à long terme. Ce type de dispositif SDR cognitif sera l'un des grands défis pour les gestionnaires du spectre et des organismes de réglementation au cours de cette décennie.

Les canaux de radio de sécurité publique sont isolés et situés très proches dans divers domaines du spectre des fréquences. Le tableau 3.1 ci-dessous montre les allocations de spectre de la sécurité publique au Canada et ceux-ci sont fragmentés en huit bandes radio.

Désignation Bandes de fréquences	Specter de fréquences (MHz)	Distribution des canaux(%)
Bande basse VHF	25–50	16
Bande basse VHF	72–764	1
VHF	150–174	33
VHF	220–2225	1
UHF	406.1–420	18
UHF	450–512	21
700 MHz	764–776 et 794–806	0
800 MHz	806–824 et 851–869	10

Tableau3.1: Bandes allouées à la sécurité publique [5]

Il est apparent dans ce tableau que les allocations de fréquences à la sécurité publique sont largement distribuées et sectionnées en bandes de fréquences différentes. Ces bandes de fréquences sont généralement étroites et sont isolées les unes des autres, ce qui résulte en des environnements radio qui ne peuvent pas partager facilement les communications radio et qui sont congestionnés. Malheureusement, ces bandes de fréquences de sécurité publique continueront d'exister, car le déplacement de tous les organismes de sécurité publique dans des bandes adjacentes serait difficile.

La technologie SDR continue toutefois à progresser, ce qui permet d'effectuer néanmoins une gestion du spectre. Dans le système LMR (Land Mobile Radio), les gestionnaires du spectre doivent réserver des fréquences spécifiques pour chaque canal vocal

qui sera utilisé dans un système particulier. Un défi important existe toutefois et c'est la réduction ou l'élimination de toute interférence avec d'autres systèmes radio. Le défi est similaire pour les dispositifs de SDR. La différence principale, et la plus grande considération pour la réalisation de dispositifs de gestion du spectre en SDR et la capacité pour un appareil SDR de fonctionner sur des bandes de fréquences multiples. La SDR pourrait introduire des interférences nuisibles, ce qui est inacceptable pour la communauté de la sécurité publique. Le mélange des dispositifs SDR et des radios traditionnelles dans une même bande de fréquence du spectre pourrait créer des problèmes s'ils ne sont pas correctement gérés. Pour éviter que les interférences affectent les utilisateurs existants, de vastes essais sur la technologie SDR est nécessaire ce qui aura pour effet probable d'allonger le temps de mise en marché.

3.2.1 Normes

Les systèmes radio de sécurité publique ont de problèmes d'incompatibilité en raison de la nature exclusive de certains vendeurs équipements. Le projet APCO25 (Association of Public Safety Communication Officials – Project 25) a été créé pour normaliser les interfaces LMR et les périphériques réseaux et pour améliorer la conformité de l'interopérabilité entre les nouveaux systèmes numériques. Des systèmes plus anciens existent et ils n'ont pas été construits pour se conformer aux normes de "Project 25" et sont donc souvent pas interopérables entre eux ou avec les nouveaux systèmes. Bien qu'il existe de nombreux avantages des systèmes radio basés sur les normes, il n'y a pas beaucoup de systèmes radios de sécurité publique qui sont conformes au Projet 25. Il y a beaucoup de systèmes radios de sécurité publique existants qui sont plus anciens et la plupart des organismes qui exploitent ces systèmes ne sont pas en mesure d'acheter de nouveaux systèmes. Cela ajoute à l'incompatibilité de système généralisé, qui continue d'être un défi commun à tous les niveaux de gouvernement.

Vu que les dispositifs SDR peuvent potentiellement fonctionner avec des technologies incompatibles, ils peuvent soulager le besoin immédiat d'installer des systèmes nouveaux, à normes communes, pour assurer la compatibilité. Toutefois, le forum SDR prévoit un

processus de normes qui sera établi pour la technologie SDR, offrant une occasion unique pour la communauté de la sécurité publique d'identifier leurs besoins en SDR pour être inclus dans les futures offres de dispositifs de SDR. Une norme SDR ouverte pourrait éventuellement créer plus de concurrence sur le marché de LMR et, éventuellement, faire baisser les prix des équipements SDR.

3.2.2 Interface utilisateur

L'interface utilisateur est un élément essentiel pour les utilisateurs de la sécurité publique, car il dépend des communications radio facilement accessibles en cas d'urgence pour aider à sauver des vies et protéger la propriété. Les utilisateurs de la sécurité publique exigent des interfaces- utilisateurs qui sont simples à utiliser, faciles à naviguer et faciles à apprendre. Malheureusement, en raison de systèmes incompatibles, les utilisateurs de la sécurité publique gèrent souvent plusieurs radios au cours d'urgence, généralement avec de multiples radios installées dans les voitures et c'est une solution temporaire d'interopérabilité. Chaque radio peut avoir une interface utilisateur unique. Un dispositif SDR peut avoir des interfaces utilisateurs simples, car de multiples radios sont regroupées en un seul appareil. Toutefois, si elle n'est pas correctement conçue, l'interface utilisateur pourrait devenir un obstacle majeur à l'efficacité des communications. Vu que le SDR a la possibilité de mise à jour par logiciel, elle fournit l'occasion d'intégrer les nouvelles technologies qui pourraient contribuer à simplifier les interfaces- utilisateurs.

3.2.3 Sécurité de Communications

De plus en plus, les agences des organismes fédéraux et provinciaux ont reconnu la nécessité d'avoir des communications sécurisées parce que les communications non sécurisées peuvent être facilement interceptées. Le chiffrement des informations classifiées est considéré comme sécurisé et on retrouve des chiffrements cryptographiques de types I et

II. Les communications cryptées pour la transmission non classifiée et les communications de réception LMR sont connues sous le nom de cryptage de type III et IV.

Pour répondre à ces normes respectives, le chiffrement peut être réalisé via des transmissions numériques, composées d'une famille de propriétaires et de normes basée sur des algorithmes qui utilisent un cryptage standard « Data Encryption Standard » ou (DES) en tant que « moteur » du module de cryptage. La plupart des sous-systèmes de cryptage fonctionnent tous avec des entrées à clés, qui sont des trames de bits numériques connues comme clés variables. Pour le chiffrement de trafic vocal, une seule clé variable est attribuée à la transmission et la réception des unités pour fonctionner dans le mode crypté ou codé.

3.2.4 Services des données

L'utilisation des communications de données par les agences de sécurité publique augmente dans leurs activités quotidiennes. Le projet 25 a commencé à élaborer des données à haute vitesse (Project Standard 25/34) pour les applications de sécurité publique. Les dispositifs SDR pourraient éliminer la nécessité de réseaux de données distincts. Il est prévu que les dispositifs SDR permettraient l'intégration des voix et des données pour l'envoi des informations vocales et des données sur le même canal.

Dans le long terme, la technologie SDR va élargir les applications de données, par exemple, à la localisation, à la distribution multimédia et à la télémédecine. La technologie SDR offre la flexibilité nécessaire pour mettre en œuvre ces nouveaux services grâce à des améliorations logicielles. Ces mises en œuvre seront beaucoup plus rapides et plus simples que les modifications en matériel.

3.2.5 Interopérabilité

L'interopérabilité de la sécurité publique est la capacité du personnel d'une agence de communiquer avec le personnel d'autres agences, sur demande et en temps réel. Les agences

3.3.2 Multi-Canaux

Une radio multi-canaux a la capacité de fonctionner simultanément sur plusieurs fréquences à la fois. Cela peut être dans la même bande ou dans deux ou plusieurs bandes différentes en même temps dans le cas d'une radio multi-bandes. Souvent, la radio multi-canaux s'applique dans une station de base qui communique avec plusieurs utilisateurs à la fois.

3.3.3 Multi-Modes

Une radio multi-modes a la capacité de traiter plusieurs types de normes (exemples : AM, FM, GMSK, CDMA...). Une SDR a la capacité de travailler avec plusieurs normes différentes et être continuellement reprogrammée. Par conséquent, les modes peuvent fonctionner successivement ou simultanément.

3.3.4 Multi-Débits

Multi-débits est lié à multi-modes. Une radio multi-débits est une radio qui contient plusieurs modes qui fonctionnent successivement ou simultanément et chaque mode à un débit différent à l'autre. Un exemple d'une radio multi-débits est celui qui peut traiter le GSM à 270.833 kb/s et CDMA à 1,2288 Mb/s.

3.3.5 Multi-Bandes Passantes

Une radio multi-bandes passantes est également un autre aspect de multi-modes. Une radio traditionnelle détermine la largeur du canal avec un filtre analogique fixe. Cependant, une SDR détermine la bande passante du canal en utilisant des filtres numériques qui peuvent être modifiés. Une série de filtres analogiques peuvent être utilisés pour changer la largeur du canal dans un récepteur traditionnel et seulement un petit nombre serait pratique.

Les filtres numériques peuvent être adaptés pour la distorsion dans le canal de transmission et ces caractéristiques sont difficiles à atteindre avec des filtres analogiques.

3.4 Implémentation des plusieurs modes

La première étape est de faire l'implémentation de chaque mode sur la station de base en utilisant le matériel USRP1 qui peut supporter toutes les bandes utilisées en sécurité publique et réseaux cellulaires (de -6 GHz). La plateforme de développement est le GNU radio et le schéma général de la station de base est présentée à la figure 3.1.



Figure 3.1: Schéma global de la station de base proposée

3.4.1 Récepteur radio FM

La chaîne de réception (figure 3.2) d'un récepteur FM est constituée d'un bloc USRP configuré à la fréquence de réception entre 87 et 108 MHz, d'un bloc démodulateur WFM, d'un bloc pour augmenter le volume du son et, à la fin, un bloc de son qui représente la carte son de l'ordinateur.

Matériels utilisés	
Cartes mères	1 USRP ou 1 USRP2
Cartes filles	1 TVRX
Antennes	Câble long
Hôte	Un ordinateur Système d'exploitation : Ubuntu Plateforme : Gnuradio

Tableau 3.2: Matériels utilisés pour un récepteur FM

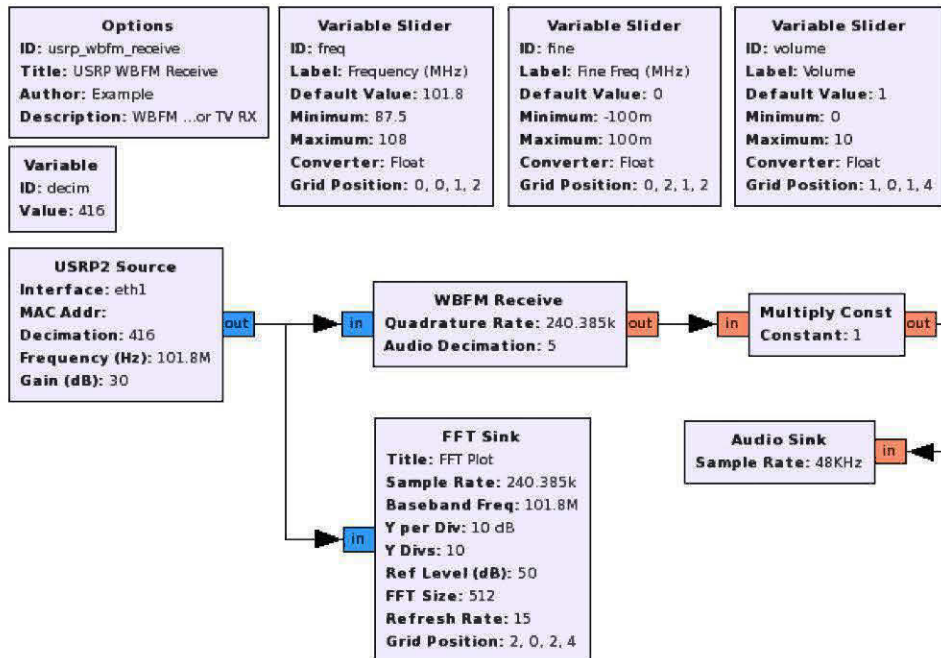


Figure 3.2: Récepteur FM sur GNU Radio

3.4.2 Répéteur FRS

Le Service Radio Familial (FRS) est une radio walkie-talkie améliorée qui utilise la modulation de fréquence FM (NBFM) dans la bande UHF (462-467 MHz) partagé en 14 canaux et le FRS n'a pas besoin d'aucune licence. Sa puissance à l'émission est toutefois limitée à 500 mW.

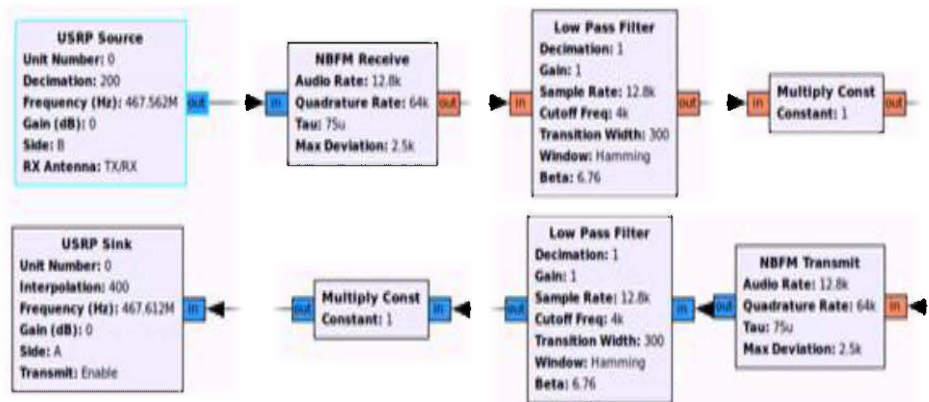


Figure 3.4: Répéteur FRS sur GNU Radio

Matériels utilisés	
Cartes mères	1 USRP ou 1 USRP2
Cartes filles	Au moins une RFX400 ou WBX ou SBX
Antennes	Deux antennes omnidirectionnelles
Hôte	Un ordinateur Système d'exploitation : Ubuntu Plateforme : Gnuradio

Tableau 3.3: Matériels utilisés pour un répéteur FRS

Le répéteur FRS sur GNU RADIO est constitué de deux parties (figure 3.4) :

- a) Une chaîne de réception contenant le bloc USRP qui est configuré à la fréquence de réception liée à un démodulateur NBFM puis à un filtre passe-bas.
- b) Une chaîne d'émission contient un transmetteur NBFM puis un filtre passe-bas et enfin le bloc USRP configuré à la fréquence de transmission.

Ces deux chaînes sont liées directement en bandes de bases.

3.4.3 Répéteur PMR

La radio mobile professionnelle PMR (aussi connu comme Radio Mobile Privé) est une radio portable ou basée sur une station de base mobile.

Les exemples typiques sont les systèmes radio utilisés par les forces de police et les pompiers. Les principales caractéristiques des PMR peuvent inclure :

- a) Communication Point à multipoint.
- b) Push-to-talk (pousser pour parler); un bouton ouvre la communication sur un canal de fréquence radio.
- c) Grandes zones de couverture.
- d) Groupes fermés d'utilisateurs.
- e) L'utilisation de bandes de fréquence VHF ou UHF (dans notre projet VHF).

L'implémentation de PMR est à peu près la même que celle de la FRS (il faut juste changer les fréquences à la bande VHF et la fréquence d'émission est différente de celle de la réception).

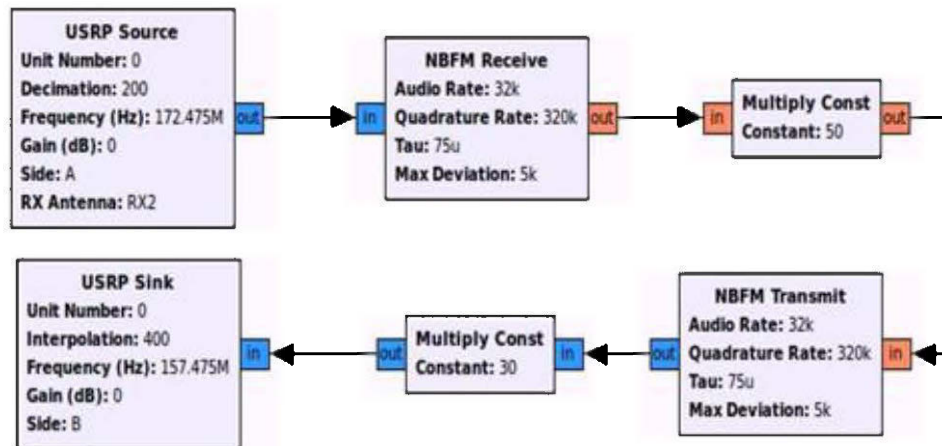


Figure 3.5: Répéteur PMR sur GNU Radio

Matériels utilisés	
Cartes mères	1 USRP ou 1 USRP2
Cartes filles	Au moins une WBX
Antennes	Deux antennes omnidirectionnelles
Hôte	Un ordinateur Système d'exploitation : Ubuntu Plateforme : Gnuradio

Tableau 3.4: Matériels utilisés pour un répéteur PMR

3.4.4 Récepteur Apco25

Le Projet 25 (P25) est un ensemble de normes produites par les efforts conjoints de l'Association des agences internationales de Communications de Sécurité publique (APCO), l'Association Nationale des Directeurs de télécommunications de l'État (NASTD), des

organismes fédéraux et National Communications System (NCS) et normalisés par la Telecommunications Industry Association (TIA).

P25 est une architecture ouverte où une série de normes du système définit des architectures de système de radiocommunications numériques capables de répondre aux besoins de la Sécurité publique et des organismes gouvernementaux. La suite des normes P25 implique les radios mobiles numériques terrestres (LMR) pour les services des agents et des organisations de sécurité publique locale, d'état/provincial et national (fédéral).

Le système de normes ouvertes P25 définit les interfaces, le fonctionnement et les capacités de n'importe quel système conforme au radio P25. En d'autres termes, une radio P25 est toute radio qui est conforme à la norme P25 selon le fonctionnement et ses fonctions. Les radios compatibles au P25 peuvent communiquer en mode analogique avec des radios anciennes et en mode numérique ou analogique avec d'autres radios P25. La norme P25 existe dans le domaine public, permettant à tout fabricant de produire un produit radio P25 compatibles.

P25 a été développé principalement pour les services de la sécurité publique nord-américains. La technologie et les produits P25 ne sont toutefois pas limités à la sécurité publique seulement et ils ont également été sélectionnés et déployés dans les applications de systèmes privés, à travers le monde.

Projet 25 possède quatre objectifs principaux :

- Assurer une concurrence en cycle de vie du système dans les marchés par l'architecture ouverte des systèmes.
- Permettre des communications efficaces et fiables intra et inter-agences.
- Fournir une fonctionnalité améliorée et des capacités en se concentrant sur les besoins de sécurité publique.
- Améliorer l'efficacité du spectre radio.

3.4.4.1 Phases de P25

La technologie conforme au P25 est en cours de déploiement en plusieurs phases.

i. Phase 1

Les systèmes radios de la phase 1 fonctionnent à 12,5 kHz en mode analogique, numérique ou mixte. Les radios de Phase 1 utilisent pour la transmission numérique une modulation FM non linéaire en continu niveau 4 (C4FM). Les systèmes conformes au P25 Phase 1 sont compatibles et interopérables avec les systèmes existants, à travers les frontières du système, et indépendamment de l'infrastructure du système. En outre, la suite des normes P25 fournit une interface ouverte de sous-système de la fréquence radio (RF) pour faciliter l'interconnexion entre différents vendeurs de systèmes.

ii. Phase 2

La phase 2 est actuellement en cours de développement dans le but de définir si le FDMA et / ou des normes TDMA seront utilisés pour atteindre un canal voix ou un débit minimum de 4800 b/s de données par canal d'efficacité pour 6,25 kHz de bande passante. La mise en œuvre de la phase 2 de P25 exige des schémas de modulation fréquentielle et temporelle (par exemple, TDMA et FDMA), avec l'objectif d'une meilleure utilisation du spectre. Aussi, d'autres caractéristiques comme l'interopérabilité avec les équipements existants, l'interface entre les répéteurs et les autres sous-systèmes, la capacité d'itinérance et de réutilisation de canal/l'efficacité spectrale sont à l'étude.

iii. Phase 3

La mise en œuvre de la phase 3 portera sur la nécessité d'une grande vitesse de transmission des données pour l'utilisation en sécurité publique. Les activités englobent l'opération et la fonctionnalité d'un nouveau standard de radio numérique de sécurité publique sans fil à large bande/haut débit aéronautique et terrestre qui peut être utilisé pour transmettre et recevoir des messages vocaux, vidéo et données à haute vitesse dans les grandes zones avec les multiples réseaux d'agences.

Les instituts européennes de Standards de télécommunications (ETSI) et TIA (Telecommunications Industry Association) travaillent en collaboration sur la phase 3, connue sous le nom de projet MESA (Mobilité de situations d'urgence et Applications de sécurité). La technologie des systèmes P25 actuels et le projet de future MESA partagent plusieurs exigences de compatibilité et de fonctionnalités.

3.4.4.2 Fonctionnement de P25

Les radios P25 fonctionnent de façon très similaire aux radios FM analogiques conventionnelles. Les radios P25 fonctionnent en mode analogique classique, ce qui les rend rétro-compatibles avec les systèmes existants de radio analogiques. Lorsque la radio P25 fonctionne en mode numérique, la porteuse est déplacée à quatre décalages spécifiques de fréquences qui représentent quatre combinaisons différentes à deux bits. Il s'agit d'une modulation FSK modifiée à 4 niveaux. En mode analogique, la radio P25 fonctionne exactement de la même façon que les systèmes analogiques classiques, avec la capacité de CTCSS (Continuous Tone-Coded Squelch System), DCS (Digital Code Squelch), préaccentuation et désaccentuation, à bande large ou à bande étroite et d'autres caractéristiques de standards analogiques.

En mode numérique de P25, l'émetteur P25 convertit tout l'audio analogique en paquets de données numériques en utilisant un codeur IMBE (Improved Multi-Band Excitation), puis décode au récepteur les informations numériques en signaux audio analogiques. La correction d'erreurs de codage et les autres informations numériques sont ajoutées à l'information vocale numérique. Les CTCSS et DCS analogiques sont remplacés par des codes CNA numériques (ainsi que le TGID (Talk Groups Identification), les codes sources destination pour un appel sélectif). On peut y ajouter des informations de cryptage pour protéger les informations vocales et d'autres informations numériques peuvent également être transmises comme un mot de données qui définit la vitesse par utilisateur ou un autre bit d'urgence.

3.4.4.3 Implémentation de P25

Matériel :

Le matériel utilisé est l'USRP1 avec une carte fille TVRX

Logiciel :

Dans les paragraphes ci-dessous il y a deux parties pour le traitement de paquets P25, le récepteur (démodulateur) et le décodeur qui sont basés sur une plateforme GNU Radio.

Récepteur :

La partie la plus fondamentale du logiciel est le programme de récepteur P25. Il prend un signal source à l'entrée et produit un audio et un flux de messages à la sortie. Le flux de messages peut être capturé dans un fichier ou transmis soit à l'appareil TAP ou dans un fichier pour traitement ultérieur.

Décodeur :

Le programme de décodeur OP25 démodule et décode les signaux P25 et produit un flux audio corrigé des erreurs. La figure 3.6 ci-dessous illustre les principes des fonctions de décodage.

Les étapes impliquées dans ce processus sont les suivantes :

- 1 Échantillonner le spectre radio (l'USRP pouvant échantillonner 6MHz en même temps ou 480 canaux de P25).
- 2 Filtrer le signal original avec un filtre de canal approprié.
- 3 Démoduler la chaîne de symboles.
- 4 Décoder les trames P25.
 - a. Corréler le flux de bits en utilisant la synchronisation de trame (FS).
 - b. Mettre le flux de bits en octets et trames (séparées par une FS).
 - c. Appliquer la détection et correction d'erreurs.
 - d. Décoder les trames audio IMBE et produire un flux de sortie audio mono.

e. Encapsuler les trames assemblées en IP et les envoyer pour un traitement ultérieur.

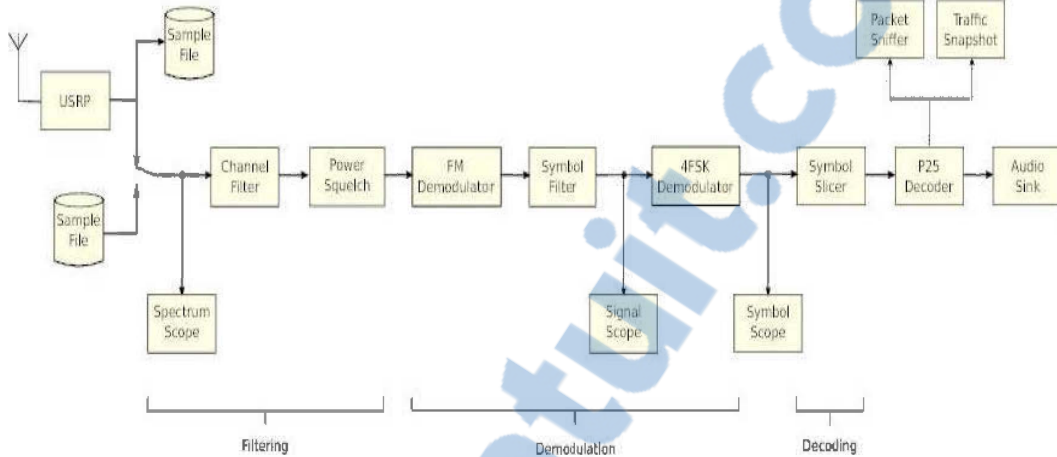


Figure 3.6: Principe des fonctions du décodage d'un signal P25 [6]

Échantillonnage :

On peut recevoir un spectre de bande large composé de plusieurs canaux à la fois. Ces canaux peuvent être divisés en canaux de largeurs égales et traités en parallèle en utilisant le bloc (analysis_filterbank). Quelle que soit la source des échantillons, il sera nécessaire de filtrer le signal entrant et corriger tout décalage de fréquence. Par exemple, le signal ci-dessous a un maximum (pic) dans le spectre.

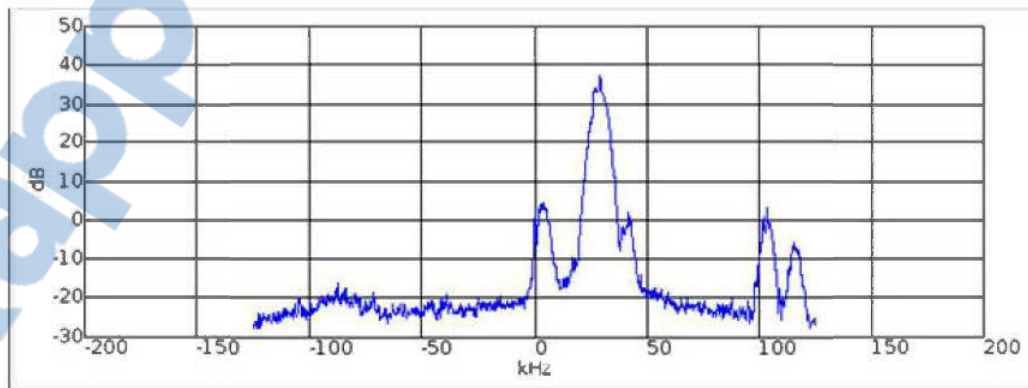


Figure 3.7: Signal P25 [6]

On notera que dans cet exemple, le pic est à environ 27,5 kHz, qui est la fréquence centrale d'un signal P25. Un filtre passe-bas à 12.5 kHz est utilisé pour extraire le canal d'intérêt et a une sélectivité très bonne. Une fois que le signal d'origine a été filtré, le résultat de bande de base est le suivant :

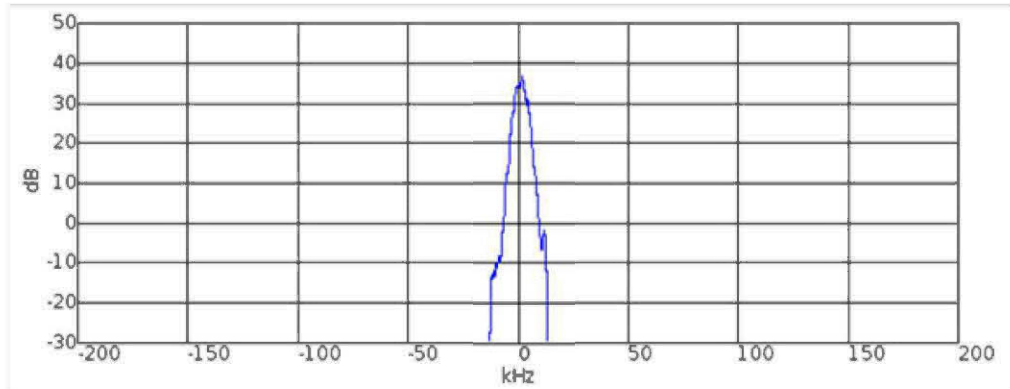


Figure 3.8: Signal P25 filtré [6]

Lorsqu'il est affiché comme un signal flottant sur un oscilloscope, le signal en bande de base montre un signal APCO Projet 25 beau et propre :

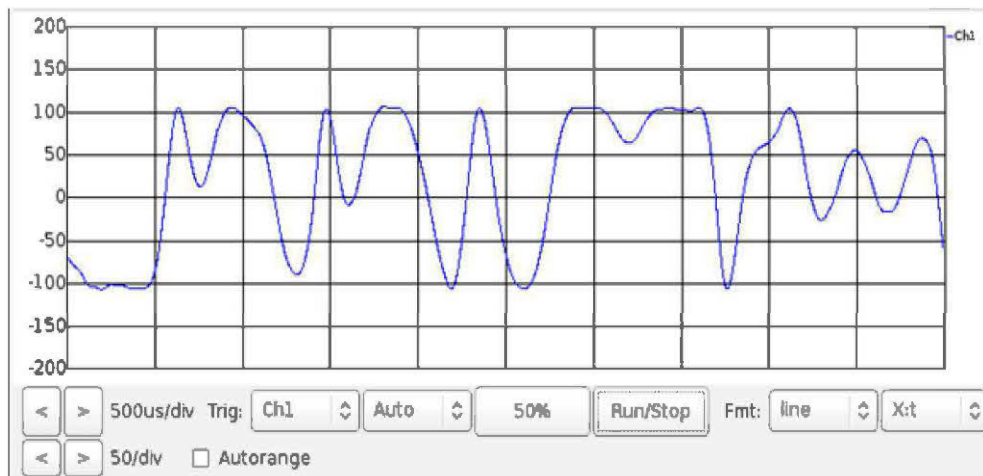


Figure 3.9: Forme d'un signal P25 [6]

Le Bloc démodulateur

Le bloc démodulateur est responsable de la transformation du signal en bande de base à un flux de symboles. Les signaux de phase I et phase II ont été définis de telle sorte qu'un seul récepteur C4FM ou DQPSK $\pi/4$ peut démoduler les signaux. Le DQPSK $\pi/4$ signifie qu'il ya un changement dans la constellation de 45 degrés de tous les symboles, ce qui signifie qu'un déphasage de 0 degré (00) devient un déphasage +45 degrés. Ceci minimise la transition de phase entre des symboles successifs de sorte que le maximum est de +135 degrés au lieu de 180°. Cette modification mineure dans le modulateur abaisse la largeur de bande du signal et permet à l'amplificateur de puissance de l'émetteur plus de linéarité spectrale.

La radio démodulateur Rausch FSK4 est un bloc démodulateur de GNU radio qui démodule un signal P25 et récupère l'une des quatre fréquences qui sont trivialement retournées en symboles.

3.5 Adaptation de l'OpenBTS au système multi-modes

Le projet OpenBTS est une station de base GSM basée sur des logiciels à source ouverte ou publique. Les téléphones mobiles compatibles à la norme GSM peuvent accéder via l'interface GSM (Um) à partir de l'interface matérielle USRP et s'enregistre au logiciel OpenBTS. Avec ce projet, les fonctionnalités d'une station de Base (BTS) des opérateurs cellulaires peuvent être émuloées. Le projet OpenBTS a été mis sur pieds avec l'intention d'offrir un BTS GSM à un faible coût, utilisé par exemple dans les zones lointaines et dans les pays en voie de développement.

3.5.1 Architecture du système GSM

Le noyau d'un réseau GSM traditionnel se compose des éléments suivants :

- a) Station de base émetteur-récepteur (BTS) et station de base contrôleur (BSC)

b) Centre de commutation mobile (MSC) et registre de localisation de visiteur (VLR)

c) Registre de localisation d'accueil (HLR) et centre d'authentification (AuC)

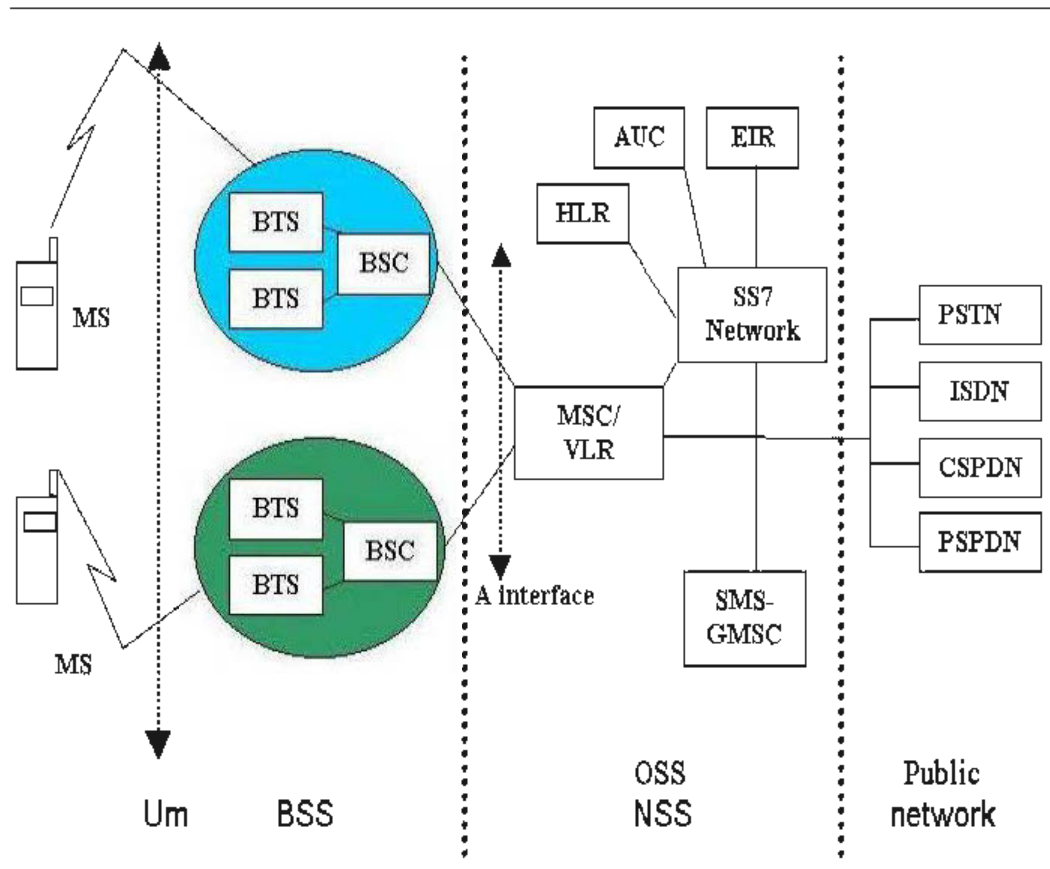


Figure 3.10 : Noyau GSM [7]

La BTS fait l'interface du milieu hertzien (Um) aux mobiles. Plusieurs BTS se connectent à une BSC et elles sont responsables des fonctions de contrôle comme le handover (passage d'une cellule à l'autre) lorsque le mobile se déplace entre les cellules radio. La passerelle MSC (GMSC) fait l'interface entre le réseau téléphonique commuté public (PSTN) et les cellules de radio où le mobile est connecté. Le MSC contrôle les BSC

connectées et les informations internes de tous les abonnés mobiles connectés à la zone du MSC.

Les VLR et HLR sont les bases de données qui contiennent les informations sur les abonnés du réseau mobile. En HLR, toutes les données nécessaires aux abonnés sont stockées en permanence et transférées au VLR d'un MSC invité comme une copie temporaire, à chaque fois que le mobile s'enregistre dans une région étrangère au MSC. L'AUC est responsable du stockage des clés secrètes Ki, le processus d'authentification utilisant le SRES et la génération de K_c pour chiffrer les données vocales.

3.5.2 System d'authentification utilisé

Si un mobile souhaite se connecter à une cellule radio, la station de base sous-système (BSS) envoie une « demande d'authentification » avec un nombre choisi au hasard RAND qui sert comme un défi.

Le mobile calcule une valeur appelée SRES basée sur le RAND avec la clé secrète Ki stockée dans sa carte SIM. L'envoi du SRES au BSS est appelé « réponse d'authentification ». Le BSS vérifie le SRES et autorise l'accès au réseau si c'est correct.

L'OpenBTS n'a pas accès à l'ASC de l'opérateur (dans lequel la clé secrète de l'abonné est stockée) et il ne prend pas en considération la valeur calculée au mobile SRES et il l'accepte. Pour la même raison, les interfaces Um fonctionnent en mode sans-Cipher, ce qui signifie que les données vocales ne sont pas cryptées.

Après la réception de la demande d'authentification, OpenBTS essaye d'inscrire l'abonné mobile comme un utilisateur SIP dans Asterisk et OpenBTS fonctionne alors comme une passerelle Um-à-SIP (figure 3.11).

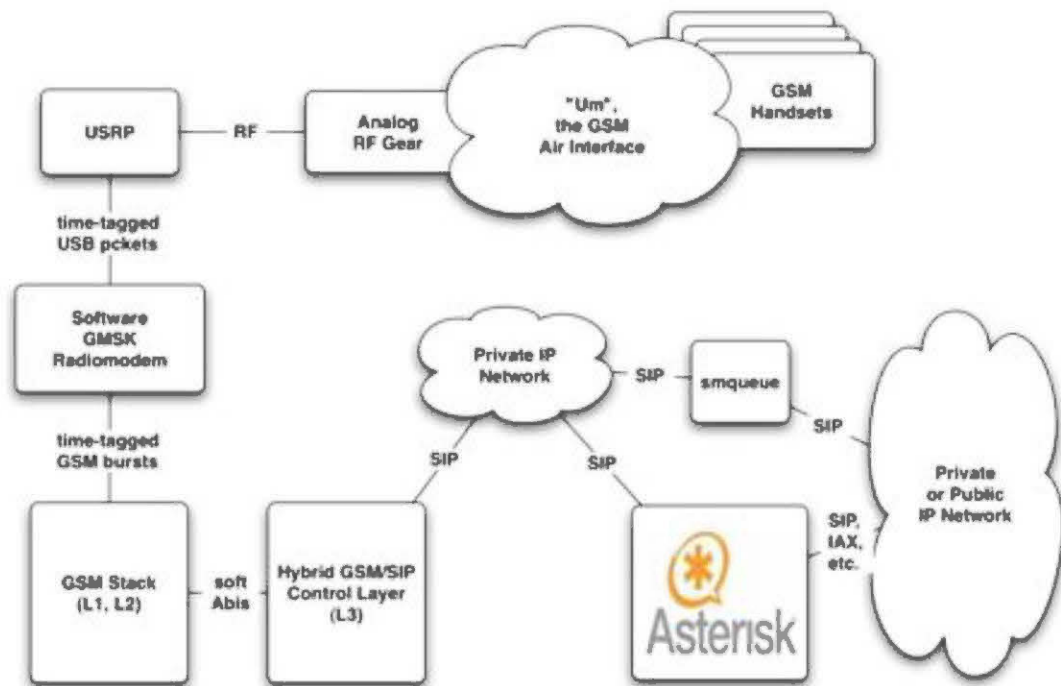


Figure 3.11 : Schéma fonctionnel d'une OpenBTS [8]

3.5.3 Configuration de serveur Asterisk

Asterisk est un logiciel d'un PBX téléphonique qui permet aux téléphones qui y sont rattachés de communiquer les uns avec les autres et de les connecter à des services téléphoniques comme PSTN et VoIP.

OpenBTS utilise Asterisk pour enregistrer chaque mobile connecté à partir de sa carte SIM comme un utilisateur SIP. Le nom d'utilisateur SIP est construit en utilisant les 4 caractères « IMSI » suivis directement par le numéro à 15 chiffres d'IMSI de la carte SIM. Donc, si un nouveau mobile essaie de s'enregistrer sur OpenBTS, son numéro IMSI doit être ajouté aux fichiers de configurations d'Asterisk, sinon aucun appel ne peut être mis en place.

Les fichiers de configuration nécessaires sont sip.conf et extensions.conf (normalement se trouvent dans le dossier /etc./asterisk). La création d'un nouvel utilisateur SIP se fait en ajoutant les lignes suivantes au fichier « sip.conf »

```
[IMSI310410114381178]

callerid=2107

canreinvite=no

type=friend

context=sip-external

\allow=gsm

host=dynamic
```

Puis en ajoutant les lignes suivantes au fichier « extensions.conf » :

```
[macro-dialSIP]
exten => s,1,Dial(SIP/${ARG1})

exten => s,2,Goto(s-${DIALSTATUS},1)

exten => s-CANCEL,1,Hangup

exten => s-NOANSWER,1,Hangup

exten => s-BUSY,1,Busy(30)

exten => s-CONGESTION,1,Congestion(30)

exten => s-CHANUNAVAIL,1,playback(ss-noservice)

exten => s-CANCEL,1,Hangup

[sip-external]
exten => 2107, 1, Macro (dialSIP, IMSI310410114381178)
```

La dernière ligne de ce fichier de configuration associe le numéro local 2107 à l'utilisateur SIP IMSI310410114381178.

3.5.4 Déploiement de station de base OpenBTS

Pour faire le déploiement de la station de base OpenBTS, il faut ajouter des amplificateurs au USRP et voici le schéma global de la station :

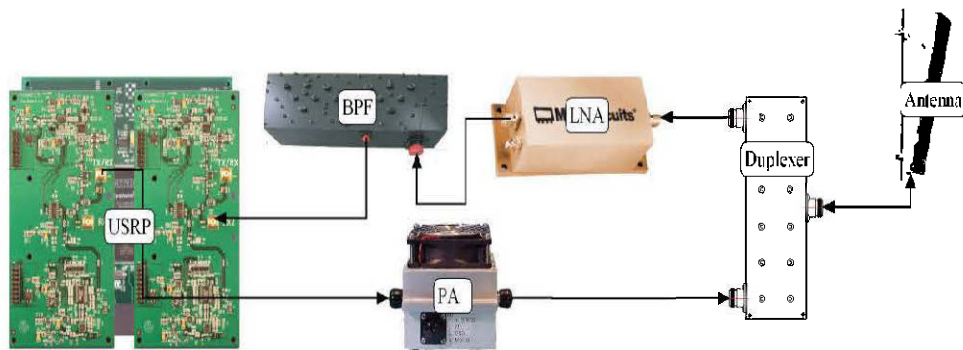


Figure 3.12 : Chaîne RF d'OpenBTS [9]

3.5.4.1 Chaîne RF

Nous commençons par la planification du chemin de la liaison montante (réception). Voici paramètres à prendre en considération :

- Le téléphone cellulaire typique a une puissance maximale à l'émission de 30 dBm avec une antenne ayant un gain de 0 dBi.
- Le niveau de bruit thermique du canal GSM est d'environ -120 dBm.

- Un E_c/N_0 minimum de 8 dB, ce qui est un standard pour les systèmes GSM (GSM 03.30), ce qui donne un BER de 0,2 %, ce qui signifie que le niveau du signal devrait être -112 dBm dans un récepteur idéal.
- Une hauteur d'antenne de 15 m est supposée.

Chaîne de réception :

Une chaîne de réception dans la station de base est constituée des composants suivants liés entre eux comme décrit ci-dessous :

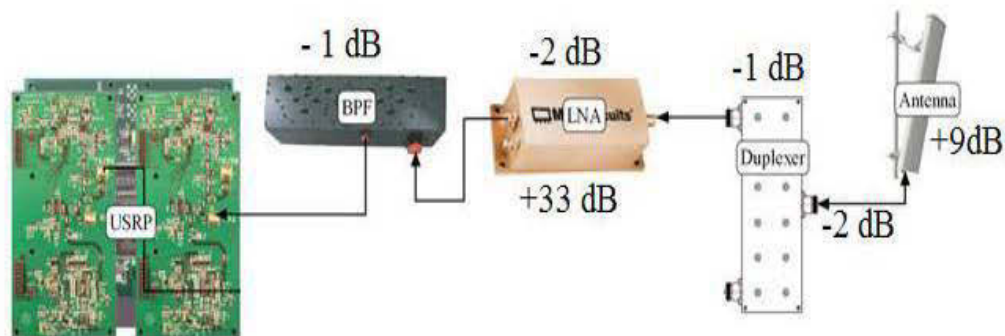


Figure 3.13 : Chaîne de réception d'OpenBTS

- L'USRP est présumé avoir un facteur de bruit d'environ 8 dB.
- Le câble le plus raisonnable est un LMR-400, 0,13 dB/m à 900 MHz. Le câble sera d'environ 15 m de long, pour une perte de 2 dB.
- La perte d'insertion dans le duplexeur est au maximum de 1 dB.
- Un LNA a un facteur de bruit de 2 dB ou moins.
- On peut obtenir un gain d'environ 9 dB pour l'antenne.

Le LNA est en dehors de l'USRP pour aider à dépasser n'importe quel bruit ou le niveau de diaphonie (crosstalk) à l'intérieur d'un USRP. Nous avons besoin d'un téléphone à la limite de portée de station de base pour produire -112 dBm à l'entrée de LNA. Le bilan d'énergie entre le téléphone et le LNA est :

$$30 \text{ dBm} - P + 9 - 2 - 1 - 2 = 34 \text{ dBm} - P = -112 \text{ dBm} \text{ où } P \text{ est la perte de trajet. Donc : } P = 112 + 34 = 146 \text{ dB.}$$

Donc, une perte de parcours de 146 dB peut être tolérée et nous travaillons à partir d'une tour de 10 m à 848 MHz. Selon le modèle de Hata, ceci correspond à une portée de 5 km pour le service suburbain et 15 km pour le service en milieu rural ouvert.

Il faut prendre en considération la plage de puissance minimum et maximum du convertisseur numérique analogique D/A dans l'USRP qui est entre -16 et 10 dBm. Donc, pour établir un lien entre le bruit thermique de -120 dBm et le bruit de l'USRP à -16 dBm, nous avons besoin d'un gain total de 104 dB. L'USRP a déjà un gain interne maximal de 81 dB, donc nous avons besoin de 23 dB de gain dans le LNA.

Chaîne d'émission

La chaîne d'émission dans la station de base est constituée des éléments suivants :

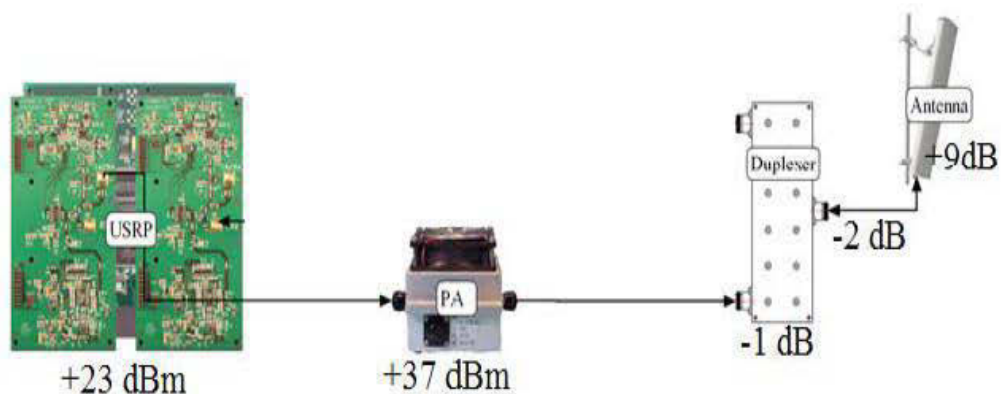


Figure 3.14 : Chaîne d'émission d'OpenBTS

Notre plan est de faire une station à une puissance rayonnée EIRP 20w, l'appareil téléphonique émet 1 W de puissance RF. L'analyse du parcours de transmission est celui qui détermine les spécifications du l'amplificateur de puissance PA, le gain de parcours du PA à l'antenne est le suivant :

T (puissance d'émission de la station de base) – perte dans le duplexeur – perte dans le câble + gain de l'antenne

$$T - 1 - 2 + 9 = T + 6 = 43 \text{ dBm (20W)}$$

Donc T est de 37 dBm au maximum, ou 5 watts.

La sortie de l'USRP étant d'environ 23 dBm, nous avons donc besoin d'un gain d'environ 14 dB dans l'amplificateur de puissance PA pour atteindre 37dBm.

En résumé, notre PA idéal a une puissance de sortie de 37 dBm et un gain de 16 dB. Nous pouvons donc utiliser des PA ayant une puissance légèrement supérieure ou avec un gain un peu plus élevé en diminuant le gain de l'USRP ou en utilisant un atténuateur.

Isolation RX/TX

Les aspects de la conception qui déterminent le degré d'isolement requis entre RX /TX sont les suivants :

1. Niveaux du récepteur à l'USRP.

On envoie 37 dBm dans le même câble qui apporte un signal de -112 dBm. Nous avons besoin de mettre les 37 dBm au-dessous de niveau de bruit thermique de -120 dBm au moment où il frappe l'USRP. Il nous faut donc une isolation de $120 + 37 = 157$ dB entre ces chemins de l'USRP.

2. Compression LNA :

Le LNA commence à comprimer à un niveau de sortie de 11 dBm. Comme le gain est de 33 dB, le LNA commence à comprimer avec un niveau à l'entrée de -22 dBm. Le duplexeur doit donc pousser le 37 dBm de sortie du PA au-dessous de -22 dBm pour éviter la compression. Nous avons donc besoin d'au moins 59 dB d'isolation dans le duplexeur pour éviter la compression.

3. Bruit de bande RX dans la sortie de USRP TX :

Le bruit de sortie de l'USRP dans la bande de réception est d'environ 80 dB sous le niveau du signal d'émission qui se situe autour de -60 dBm. Le duplexeur doit donc être capable de supprimer le bruit au-dessous de -120 dBm pour prévenir la dégradation dans le récepteur. Nous avons donc besoin d'au moins 60 dB d'isolation dans l'unité de duplexeur pour limiter ce bruit. Il nous faut donc un total de 156 dB de suppression de signal transmis par le duplexeur et le filtre passe-bande BPF ensemble.

Spécifications des composants

i. LNA

Dans le tableau 3.5 on trouve les caractéristiques de l'amplificateur à faible bruit LNA-1000.

Parameter	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Frequency Range	MHz	10		1000
Gain f = 40MHz	dB		33	
f = 500MHz	dB		33	
f = 1000MHz	dB		30	
P _{1dB} f = 40MHz	dBm		+11	
f = 500MHz	dBm		+11	
f = 1000MHz	dBm		+9	
IP3 f = 500MHz	dBm		+23	
Noise Figure f = 40MHz	dB		1.8	
f = 500MHz	dB		2.0	
f = 1000MHz	dB		2.3	
VSWR f = 500MHz				
Input VSWR			1.5:1	
Output VSWR			1.5:1	
DC Power Supply	V	9	12	15
Supply Current	mA		35	

Tableau 3.5: Caractéristiques de LNA de RF Bay : LNA-1000 [D]

ii. Amplificateur PA

Dans le tableau 3.6 on trouve les caractéristiques de l'amplificateur de puissance MPA-925.

Parameter	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Frequency Range	MHz	850		1000
Small Signal Gain	dB	40	41	
Output Power P_{out} @ $P_{in} = -3dBm$	dBm		+37	
IP3	dBm		+47	
Reverse Isolation	dB		-75	
Noise Figure	dB		6.0	
Efficiency at $P_{out} = +37dBm$	%		33	
VSWR	Input		1.3:1	
	Output		1.5:1	
DC Power Supply	V		9	
Supply Current	mA		1650	
Size (Excluding SMA Connector)	inch	3.750" x 2.000" x 1.813"		
Weight	Oz.	8		

Tableau 3.6 : Caractéristiques de LNA de RF Bay : MPA-925 [C]

iii. Duplexeur

Dans le tableau 3.7 on trouve les caractéristiques de duplexeur AB82B477.

Frequency	824~840 MHz	
Insertion Loss (max)	1.0 dB	
Return Loss (min)	19 dB	
Rejection	>95 dB	869~885 MHz
	>20 dB	6.0~12.75 GHz
RTE vs. Rx (dB) (max)	30 ± 1.0 dB	
Operation Temperature	-40 ~+85°C	
Size	205 × 100 × 48 mm³	

Tableau 3.7 : Caractéristiques de duplexeur Anatech Electronics AB832B477 [E]

iv. Antenne

L'antenne utilisée a un gain de 9 dBi [F].

CHAPITRE IV

TRANSFORMATION DES MODES AVEC SIGNALISATION

4.1 Introduction

Au chapitre précédent, on a expliqué comment implémenter les quatre modes principaux (FRS, PMR, P25 et GSM) sur une station physique. Cependant, pour répondre au besoin de la sécurité publique, il faut pouvoir acheminer des appels entre un mode et un autre et la station doit donc agir comme une passerelle entre ces différents modes. Il faut donc transformer les formes d'ondes dans la couche physique ou dans l'application considérée.

4.2 Transformation dans la couche physique

Lorsqu'il y a une communication entre deux modes différents dans la couche physique, la transformation entre ces modes se fait dans cette même couche. On peut classer la transformation à ce niveau sous trois formes : analogique ↔ analogique, analogique ↔ numérique, et numérique ↔ numérique. Un exemple de transformation analogique ↔ analogique est montré à la figure 4.1. Dans cet exemple, l'identification de la source se fait par le type de modulation, la largeur de bande, la fréquence porteuse et la puissance ex. FRS radio (NBFM, 25 kHz, 462.5625 MHz.).

L'identification de la destination se fait par la tonalité CTCSS qui est une tonalité sonore entre 67 et 254 Hz et qui est transmise avec le signal audio vocal pendant la transmission. À la réception, les filtres CTCSS filtrent tous les utilisateurs qui utilisent une tonalité CTCSS

différente. Pour chaque tonalité CTCSS, on définit une identification d'une destination selon le mode, le canal et la tonalité (Tableau 4.1)

CTCSS de source	Destinations		
	Mode	Canal	CTCSS
1	FRS	1	3
2	FRS	1	7
3	FRS	4	2
4	PMR	6	8
5	PMR	6	10
6	PMR	11	10

Tableau 4.1 : Exemple de destinations selon la tonalité CTSS

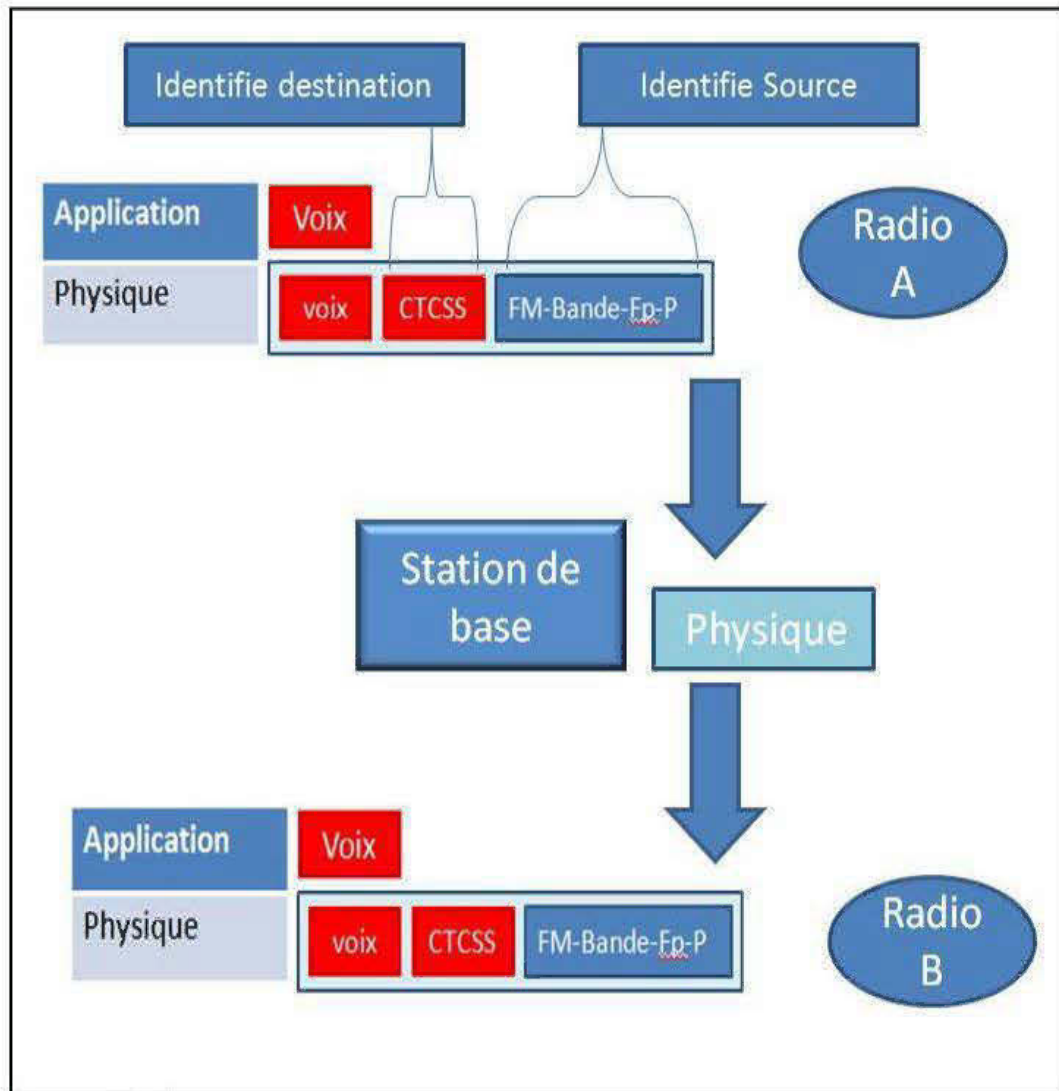


Figure 4.1: Transformation Analogique ↔ Analogique

4.2.1 Passerelle radio FM -> FRS

On présente ici un exemple simple pour illustrer comment relier entre eux deux systèmes différents (radio FM et radio FRS) qui fonctionnent sur deux bandes de fréquences différentes (VHF et UHF) et utilisent deux modulations différentes (WFM et NBFM).

Le principe est de faire une chaîne de réception de radio FM et une chaîne d'émission de radio FRS, ces deux chaînes étant liées directement sans passer par la carte sonde de l'ordinateur (Figure 4.2).

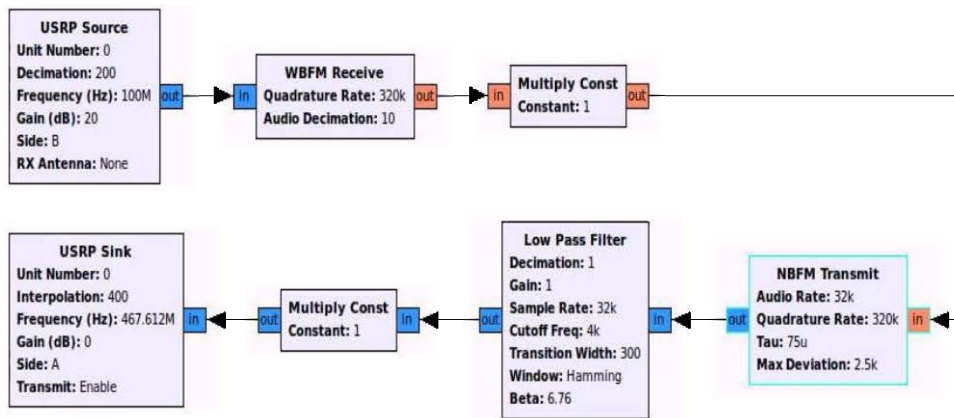


Figure 4.2: Passerelle FM-FRS

Matériels utilisés	
Cartes mères	1 USRP ou 1 USRP2
Cartes filles	Une RFX400 ou WBX ou SBX pour 400MHz Une TVRX pour la réception dans la bande FM
Antennes	Deux antennes omnidirectionnelles
Hôte	Un Ordinateur Système d'exploitation : Ubuntu Plateforme : GNU radio

Tableau 4.2: Matériels utilisés pour l'exemple FM->FRS

4.2.2 Passerelle FRS-PMR

Le mode FRS fonctionne sur la même fréquence en émission et en réception tandis que dans le mode PMR, il y a une fréquence pour la réception et une autre différente pour l'émission (les deux séparés par 15 MHz).

Pour passer les appels entre deux modes différents (FRS et PMR) et deux bandes différentes (UHF et VHF), on a besoin de quatre chaînes de transmission (deux pour la réception et deux pour l'émission). Dans ce cas, la chaîne de réception de FRS est liée directement à la fin de la chaîne d'émission de PMR, puis la chaîne de réception de PMR est liée directement à la fin de la chaîne d'émission de FRS (Figure 4.3).

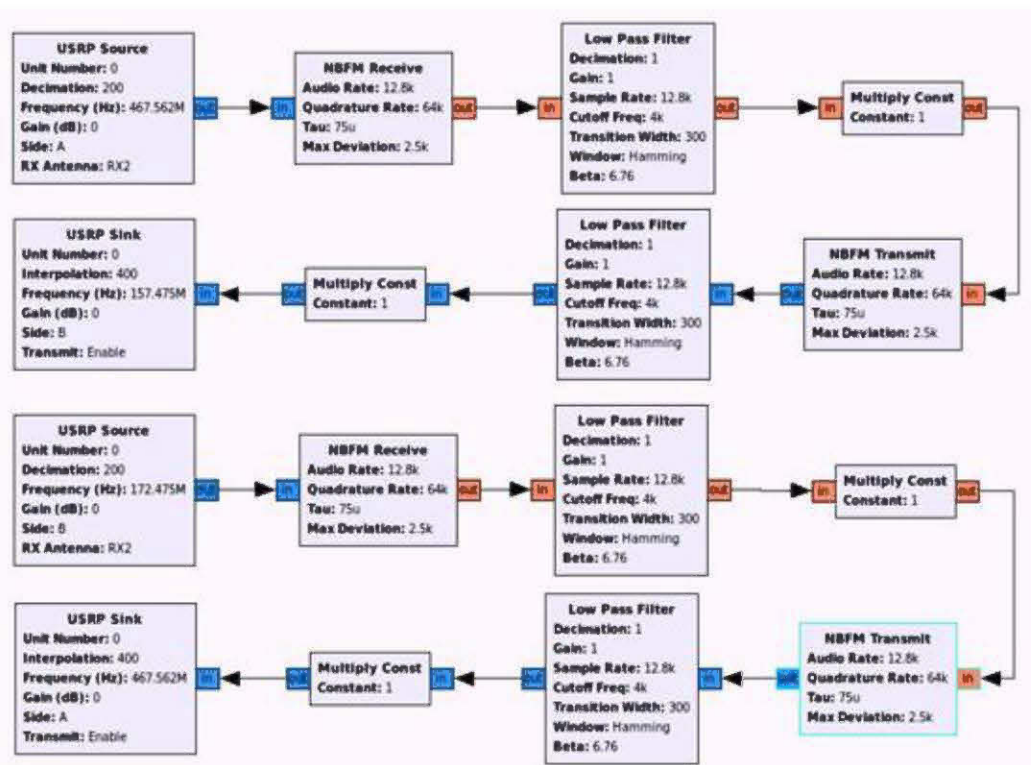


Figure 4.3: Passerelle FRS-PMR

Cartes mères	1 USRP ou 1 USRP2
Cartes filles	Une RFX400 ou WBX ou SBX pour le 400MHz et une WBX pour VHF
Antennes	Quatre antennes omnidirectionnelles
Hôte	Un Ordinateur avec un système d'exploitation Ubuntu et la Plateforme GNU radio

Tableau 4.3: Matériels utilisés pour les chaînes FRS-PMR.

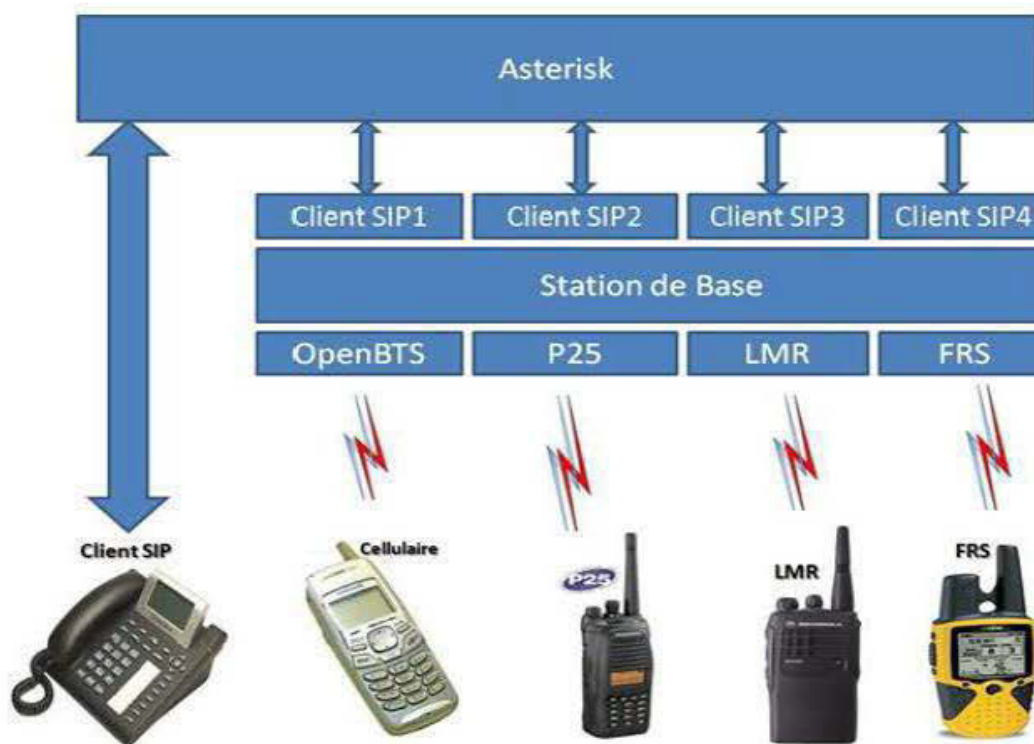


Figure 4.4: Signalisation avec le protocole SIP

4.3 Transformation dans la couche application

Si la communication se fait entre deux couches différentes, par exemple entre une radio FRS et une OpenBTS, on a besoin d'une autre méthode de signalisation. Vu que l'OpenBTS utilise le protocole SIP pour la signalisation, on va implémenter ce protocole avec les autres

modes comme FRS et PMR. Le problème avec FRS et PMR est qu'ils fonctionnent dans la couche physique tandis que le protocole SIP fonctionne dans la couche application. La solution est alors d'utiliser le son directement comme interface entre l'application client de SIP et la couche physique (Figure 4.4).

La méthode proposée consiste à donner à chaque destination radio (FRS ou PMR) une extension SIP dans le serveur Asterisk et qui correspond aux paramètres (mode, canal, tonalité). Le tableau 4.4 ci-dessous donne un exemple simple de cette situation.

Extension	Mode	Canal	Tonalité CTCSS	IMSI(cartes SIM)
2001	GSM		10	302720404064041
2002	GSM		11	302610001490929
3001	FRS	5	12	
3002	FRS	5	13	
3003	FRS	6	14	
4001	PMR	2	15	
4002	PMR	20	16	

Tableau 4.4: Exemple de destinations selon la tonalité CTSS et l'extension

Les radios PMR et FRS sont des radios half-duplex, donc la communication avec des systèmes full-Duplex (OpenBTS) reste half-duplex.

4.3.1 Méthode de connexion GNU radio-Asterisk

Le problème est de savoir comment faire passer le son entre une ou plusieurs chaînes de communications sur GNU radio à un ou plusieurs clients SIP sur le serveur Asterisk. Normalement, on utilise un bloc Audio-Sink ou Audio-Source sur GRC de GNU radio pour communiquer avec la carte son de l'ordinateur, ces deux blocs utilisant par défaut le pilote de la carte de son sous linux (ALSA). De l'autre côté, les logiciels clients SIP passe le son aussi par défaut à la carte son de l'ordinateur. Alors pour passer le son entre GNU radio et les logiciels clients SIP directement, on a besoin d'une interface intermédiaire. Jack Audio Connection Kit est un logiciel à source ouverte qui a la capacité de passer le son entre plusieurs applications ou partager la même ressource audio.

4.3.2 Étapes d'implémentations

Dans les paragraphes ci-dessous, on trouvera les différentes étapes d'implémentations.

Une simple chaîne d'émission dans GNU radio illustrée dans le schéma suivant qui contient un bloc source audio, un modulateur et un bloc USRP.

Dans le bloc Audio-Source, on définit un nom pour Device Name (jackplug) qui représente l'interface avec le logiciel Jack et il faut configurer ce nom dans un fichier spécial.

a)

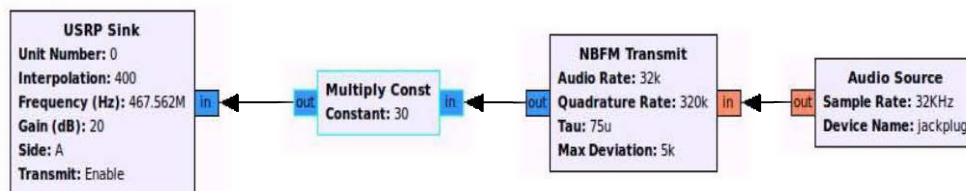


Figure 4.5: Audio Jackplug

b) Ajouter dans le dossier principal un fichier « .asoundrc » qui fait une liaison entre ALSA et le logiciel « jack », ce fichier contient les lignes de code suivantes :

```
pcm.jackplug {
    type plug
    slave { pcm « jack » }
}
pcm.jack {
    type jack
    playback_ports {
        0 alsa_pcm:playback_1
        1 alsa_pcm:playback_2
    }
    capture_ports {
        0 alsa_pcm:capture_1
        1 alsa_pcm:capture_2
    }
}
```

Il faut créer pour chaque canal audio une nouvelle interface virtuelle comme jackplug, juckplug2...

c) Dans le serveur Asterisk, on ajoute pour chaque communication une extension SIP dans le fichier de configuration extensions.conf sous la forme suivante :

```
exten => 12345,1,Answer
exten => 12345,n,JACK(c(12345))
```

- 1234 : représente le numéro d'extension.
- La fonction Answer pour répondre au canal.
- La fonction jack est une application pour connecter un canal Asterisk à l'entrée et la sortie de port jack afin que l'audio puisse être traité par GNU radio.

Lorsque l'application JACK () est exécutée dans le Dialplan d'Asterisk, deux ports JACK sont créés. Il ya un port d'entrée et un de sortie qui agissent comme le point final d'un appel téléphonique. L'audio du canal sort du port de sortie qui est créée l'audio qui arrive sur le port d'entrée est envoyé à l'appelant.

d) jusqu'à maintenant, on a deux canaux à lier entre GNU radio et Asterisk. Pour faire cela, on exécute le serveur Jack et on a utilisé Qjackctl qui est une application simple pour contrôler le serveur Jack et qui simplifie la connexion des canaux audio graphiquement.



Figure 4.6: interface Jack

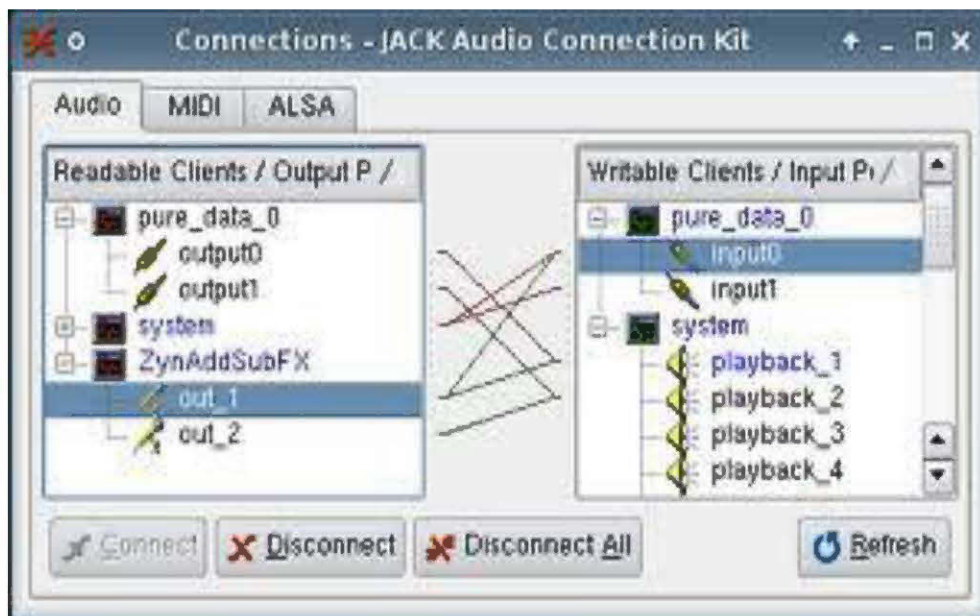


Figure 4.7: Connexions Jack Audio

On voit que dans cette interface tous les ports audio qui existent dans le système et qui sont compatibles avec Jack. Les ports de sortie sont présentés du côté gauche de

l'application tandis que les ports d'entrée sont présentés du côté droit, d'où la possibilité de lier n'importe quels deux ports entrée-sortie.

4.4 Bilan

On a expliqué dans ce chapitre comment implémenter une passerelle entre les différents modes radios dans une seule station. La méthode utilisée est la transformation des formes d'ondes dans la couche physique pour les modes analogiques et dans la couche application pour les modes numériques.

CHAPITRE V

PERFORMANCE DU SYSTÈME PROPOSÉ

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, on fait les mesures de performance de la station de base réalisée. Les mesures importantes qui sont aussi les plus intéressantes sont la capacité de système complet (USRP avec ordinateur), les latences de temps et les limitations de matériels et logiciels utilisés.

5.2 Capacité du système

Pour connaître la capacité de notre système, on a fait des mesures de pourcentage d'utilisation du processeur et de la mémoire RAM de l'ordinateur hôte selon le nombre des appels. On a pris comme exemple le répéteur FRS qui est formé de deux parties :

- Une plaquette USRP1 et deux interfaces RF (Transceiver RFX400) et, dans le GNU radio, deux chaînes de transmission pour chaque appel (une chaîne pour l'émission et une pour la réception).

- Un logiciel GNU radio qui est installé sur le système d'exploitation Ubuntu (release 10.04), dans un ordinateur possédant un processeur Intel Core 2 Duo T6400 2GHz et une mémoire RAM de 3GB.

- Les résultats sont donnés au tableau 5.1.

Nombre d'appels	Notes	Processeur	Mémoire RAM
0	Avant le lancement du système	5 %	10.8 %
0	Après le lancement de système	6 %	12.4 %
1		22 %	14.7 %
9		55 %	17 %
18		85 %	17.5 %
27		100 %	17.7 %

Tableau 5.1: Capacité du système des radios FRS-PMR

On remarque que le répéteur peut supporter un maximum de 27 appels en même temps, avec une saturation du processeur.

5.3 Capacité d'OpenBTS

Dans la version publique d'OpenBTS (2.5.4), la station de base fonctionne juste sur un seul canal (7 mobiles) et donc 3 appels dans la même station et 5 canaux (35 mobiles) dans la version professionnelle c2.8. Le système OpenBTS a besoin d'une plaquette (board) USRP1 avec deux cartes d'interface RF (Transceiver RFX900) et le logiciel OpenBTS avec serveur Asterisk. On a utilisé le même ordinateur et la version de linux déjà utilisée pour le répéteur FRS, on a obtenu les résultats suivants (tableau 5.2).

Nombre d'appels	Notes	Processeur	Mémoire RAM
0	Avant le lancement de système	7 %	11.3 %
0	Après le lancement de système	20 %	11.6 %
1		25 %	12 %
2		28 %	12.2 %

Tableau 5.2: Capacité de l'Open BTS

5.4 Latence dans le système

Afin de connaître la latence temporelle dans le système, on a mesuré le temps que le signal prend pour se propager entre le début de chaîne d'émission à la fin de chaîne de réception. On a utilisé pour ce faire, deux chaînes de transmission, une pour la transmission qui commence par un bloc minuterie pour mesurer le temps au début puis un bloc source de données liée à un bloc modulateur GMSK qui envoie les données dans l'air à partir du matériel USRP1 et une deuxième chaîne pour la réception qui a un matériel USRP1 pour recevoir le signal émis associé à un bloc démodulateur GMSK, puis un bloc capteur de numéro de paquet et un bloc minuterie qui mesure le temps de réception de chaque paquet. On a utilisé deux débits différents (20 et 200 kb/s) et puis on a changé la taille des paquets de 150 à 1500 octets. Trouvé les résultats obtenus sont illustrés aux figures 5.1 et ,5.2 ci-dessous.

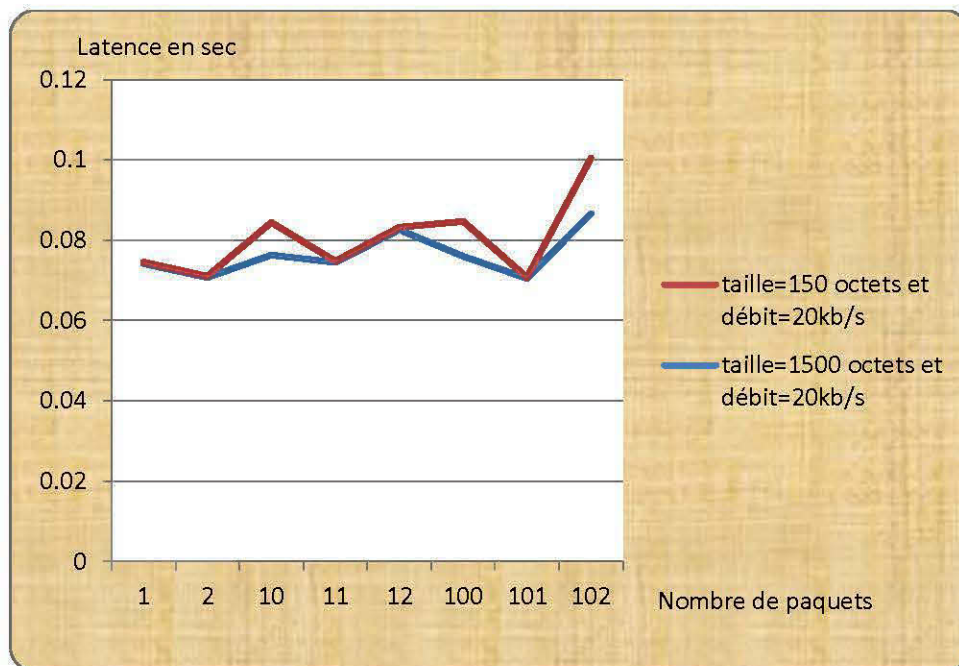


Figure 5.1: Latence du système avec un débit de 20 kb/s

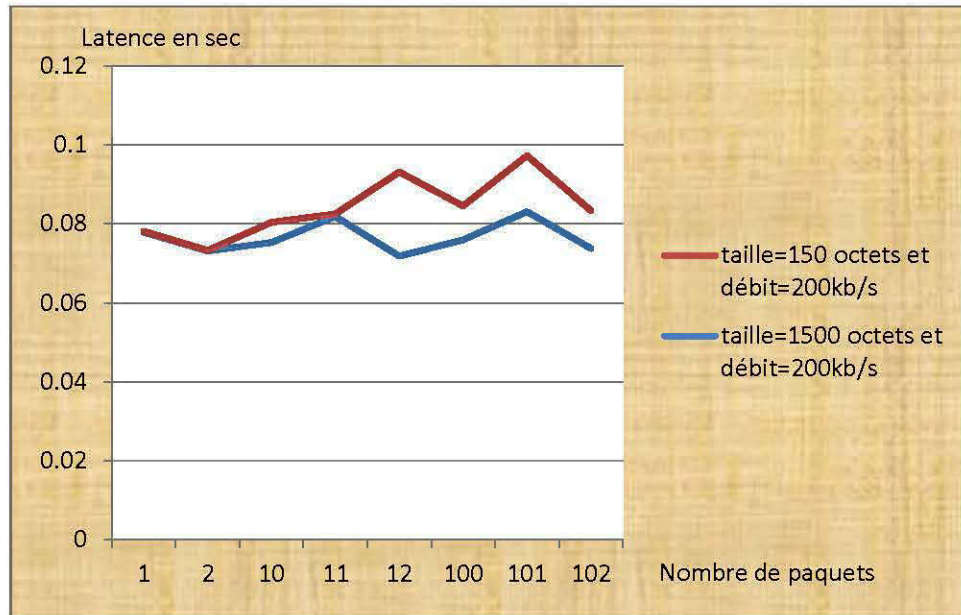


Figure 5.2: Latence de système avec un débit de 200 kb/s

On voit que la valeur moyenne de la latence se situe autour de 80 ms pour les deux chaînes, donc 40 ms pour l'émission et 40 ms pour la réception. Le standard des limites de latences acceptées pour les applications de voix selon (International Telecommunication Union ITU) est entre 0 et 150 ms.

Dans notre cas, nous avons une latence de l'ordre de 40ms et comme notre système est orienté vers les applications de voix, cette latence est acceptable et ne cause pas de problèmes.

5.5 Limitation de l'USRP

L'USRP est une radio SDR flexible, mais il y a toujours des limites dans toutes les radios. Le débit maximal entre l'USRP et l'hôte est la limitation initiale de l'USRP. L'interface USB 2.0 peut supporter des débits de données autour de 32 MS/s et une bande passante approximative d'environ 8 MHz. À cause de cette limitation, les normes comme la 802.11 b/g (canaux de 20 MHz) ne sont pas réalisables en utilisant l'USRP et on ne peut pas

balayer en même temps plus que 8 MHz dans le mode PMR (bande de 38 MHz). Il y a toutefois toujours des développements au niveau matériel et l'entreprise ETTUS possède des nouvelles versions d'USRP comme USRP2 qui a une interface gigabit avec l'hôte et une bande passante de 50 MHz.

5.6 Limitation de l'OpenBTS

Le système OpenBTS ne supporte pas le Handover entre les cellules et il peut fonctionner juste pour la voix. La version publique supporte juste un seul canal (7 abonnés), mais il y a des travaux sur ce projet par l'entreprise Kestrel pour qu'il supporte le Handover et le GPRS (pour les données) à la fin de l'année 2011 et aussi des efforts pour implémenter le système 3G/UMTS sur SDR.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

Dans ce projet, nous avons traité le problème de l'interopérabilité entre différents modes radios de sécurité publique, en profitant des avantages de la radio logicielle SDR et nous avons utilisé le matériel USRP avec la plateforme logicielle GNU Radio.

Nous avons démontré dans ce projet qu'on peut implémenter sur une seule station de base qui supporte de modes radios basé sur des différents standards (FM, FRS, PMR, P25 et GSM) et nous avons travaillé sur l'interconnexion de différents modes en permettant le passage d'appel d'un mode à l'autre.

Et à la fin, nous avons mesuré la performance de système selon la capacité et les latences et quelques limitations dans le matériel USRP et les logiciels GNU radio et OpenBTS.

Le travail futur proposé est le développement de la station de base GSM pour qu'il supporte la transmission de données à un débit plus haut comme le GPRS ou EDGE, puis résoudre le problème de signalisation au niveau SIP entre plusieurs stations de bases pour assurer le Handover. Chaque station GSM supporte juste un seul canal donc 7 abonnés maximum, c'est recommandé d'ajouter le support de multicanaux, les matérielles utilisés peuvent supporter ça et surtout les nouvelles versions de USRP.

Pour ajouter l'intelligence à la station de base et plus d'autonomie on peut utiliser le radio cognitive qui peut automatiquement configurer les paramètres de la station (modulation, fréquence, amplitude...) et gérer les spectres utilisés selon mode choisie.

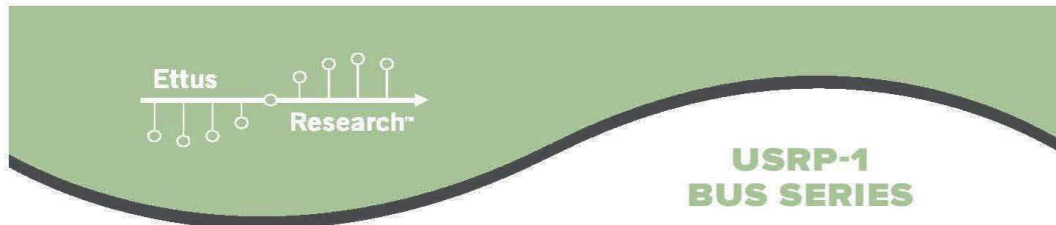
BIBLIOGRAPHIE

- [1] [MILCOM, Washington:"Cognitive radio platform development for interoperability," IEEE Proc., D.C., 2006.
- [2] <http://www.eetimes.com/General/PrintView/4016970>
- [3] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/GNURadioCompanion>
- [4] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/UsrcRfxDiagrams>
- [5] <http://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/2003-allochrt.pdf>
- [6] <http://op25.osmocom.org/1/wiki>
- [7] <http://www.dcs.gla.ac.uk/~lewis/teaching/Tik-111.htm>
- [8] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/OpenBTSBackground>
- [9] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/OpenBTSBM2009RF>
- [10] Gnu radio sur www.gnuradio.org
- [11] Multiband multimode phase i technical report: www.ece.vt.edu/swe/chamrad/crdocs/CRTM15_061001_P1R.pdf
- [12] Multiband public safety radio using a multiband RFIC with an RF : www.ece.vt.edu/swe/mypubs/
- [13] Openbts_guide_en_v0.1 : gnuradio.org/redmine/attachments/139/OpenBTS_Guide_En_v0.1.pdf
- [14] Projet P25 sur le site : <http://www.p25.com/>
- [15] Part_1_sdr_wireless_at_vt: ireless.vt.edu/coreareas/...Networks/.../Part_1_SDR_Wireless_at_VT.pdf
- [16] Matthias Fähnle Advisor:"Sdr_gnuradio_usrp_feb2010", Prof. Dr.-Ing. Frowin Derr 2009/2010

- [17] Sip signalisation: F. Harivelo Universite de la Reunion 2010 - 2011
- [18] Usrcp_documentation: www.ettus.com/
- [19] Whitepaper_sip_for_voip :
www.nokia.com/NOKIA_COM.../whitepaper_sip_for_voip.pdf
- [20] Plateforme OSSIE : ossie.wireless.vt.edu/trac/
- [21] Plateforme SCARI : www.crc.gc.ca/en/html/crc/home/.../sdr/.../scari.../scari_open
- [22] S.W. Ellingson: " A Comparison of Some Existing Radios with Implications for Public Safety Interoperability", Virginia Tech Project Technical Report No. 4, Jun 2006. <http://www.ece.vt.edu/swe/chamrad>
- [23] A.A. Abidi:" The Path to the Software-Defined Radio Receiver". IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 42, No. 5, May 2007pp. 954-66
- [24] T. W. Rondeau, C. J. Rieser, B. Le, and C. W. Bostian, « Cognitive Radios with Genetic Algorithms: Intelligent Control of Software Defined Radios," SDR Forum Technical Conference, Phoenix, 2004, pp. C-3 - C-8.
- [25] S.W. Ellingson "Requirements for an Experimental Public Safety Multiband/Multimode Radio:Analog FM Modes", July 27, 2006.
- [26] P. Balister and J. Reed: "USRP Hardware and Software Description", June 2006.
- [27] S.M.Shajedul Hasan and S.W. Ellingson: "A Candidate RF Architecture for a Multiband Public Safety Radio", September 28, 2006.
- [28] S. Ellingson and J. Reed, "Multi-Band Multi-Mode Radio for Public Safety" (presentation slides), International Wireless Communications Expo (IWCE), Las Ve-gas, NV, May 19, 2006.
- [29] Understanding Delay in Packet Voice Networks', http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_white_paper09186a00800a8993.shtml

ANNEXES

ANNEXE A: Caractéristiques d'USRP1



FEATURES:

- Use with GNU Radio, LabVIEW™ and Simulink™
- Modular Architecture: DC-6 GHz
- Connectivity for Two, Complete Tx/Rx chains
- Two Dual 64 MSPS, 12-bit ADC's
- Two Dual 128 MSPS, 14-bit DAC's
- DDC/DUC with 15 mHz Resolution
- Up to 64 MHz Signal Processing
- Up to 16 MHz USB Streaming
- USB 2.0 Interface to Host
- Auxiliary Digital and Analog I/O
- 25 ppm TCXO Frequency Reference

USRP-1 PRODUCT OVERVIEW:

The Ettus Research™ USRP-1 is the original hardware of the USRP™ (Universal Software Radio Peripheral) family of products, which enables engineers to rapidly design and implement powerful, flexible software radio systems. The USRP-1 provides an entry-level platform with built in MIMO expansion and a modular design allowing the hardware to operate from DC to 6 GHz. The architecture includes an Altera Cyclone FPGA, 64 MSPS dual ADC, 128 MSPS dual DAC and USB 2.0 connectivity to provide data-to-host processors.

The USRP-1 includes connectivity for two daughtercards, enabling two complete transmit/receive chains. This feature makes the USRP-1 ideal for applications that require high isolation between transmit and receive chains, or dual-band dual transmit/receive operation. The USRP-1 can stream up to 16 MHz of RF bandwidth to host applications, with 15 mHz resolution, and simplified filtering requirements with on-board DDC's and DUC's.

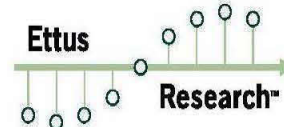
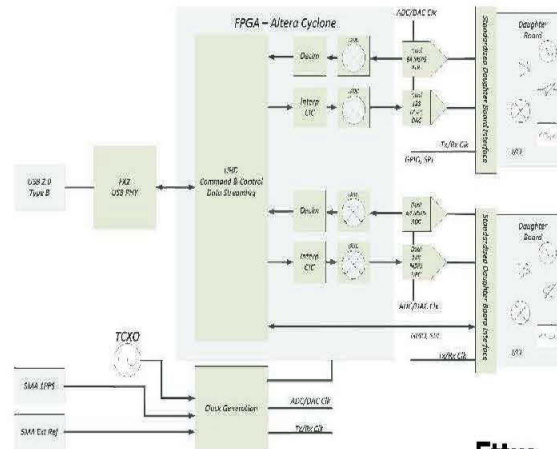
The USRP Hardware Driver™ is the official driver for all Ettus Research products, and supports rapid development in a comprehensive environment. The USRP Hardware Driver supports Linux, Mac OSX, Windows, NetBSD and FreeBSD.

USRP-1 BUS SERIES

SPECIFICATIONS

Spec	Typ.	Unit	Spec	Typ.	Unit
POWER			RF PERFORMANCE (w/ WBX)		
DC Input	6	V	SSB/LO Suppression	35/50	dBc
Current Consumption	0.7	A	Phase Noise(1.8 GHz)		
w/ WBX Daughterboard	1.7	A	10 kHz	-80	dBc/Hz
CONVERSION PERFORMANCE AND CLOCKS			100 kHz	-100	dBc/Hz
ADC Sample Rate	64	MSPS	1 MHz	-137	dBc/Hz
ADC Resolution	12	bits	Power Output	15	dBm
ADC Wideband SFDR	85	dBc	IIP3	0	dBm
DAC Sample Rate	128	MSPS	Receive Noise Figure	5	dB
DAC Resolution	14	bits	PHYSICAL		
DAC Wideband SFDR	83	dBc	Operating Temperature	0 to 55°	C
Sample Rate to/from Host	8/16	MSPS	Dimensions (l x w x h)	18x21x5.5	cm
Frequency Accuracy	2.5	ppm	Weight	0.7	kg
w/ GPSDO Reference	0.01	ppm			

* All specifications are subject to change without notice.



ABOUT ETTUS RESEARCH:

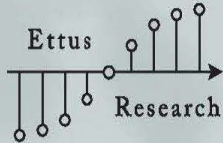
Ettus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Ettus Research products maintain support from a variety of software frameworks, including GNU Radio. Ettus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 2004 and is based in Mountain View, California. As of 2010, Ettus Research is a wholly owned subsidiary of National Instruments.

1043 North Shoreline Blvd
Suite 100
Mountain View, CA 94043

P 650.967.2870 www.ettus.com
F 866.807.9801

ANNEXE B

Caractéristiques de la carte fille RFX900



Transceiver Daughterboards

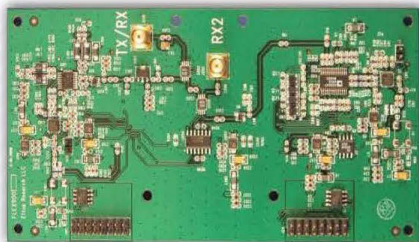
For the USRP Software Radio System

DESCRIPTION

The RFX family of daughterboards turns a USRP motherboard into a complete RF transceiver system. Just add an antenna, and you are ready for two-way, high bandwidth communications in many popular frequency bands. The boards have many features which facilitate their integration into more complex systems, such as digital control lines and the option for split transmit and receive ports.

FEATURES

- 20+ MHz transmit and receive bandwidth
- Fully synchronous design, MIMO capable
- All functions controllable from software or FPGA
- Independent local oscillators (LOs) for TX and RX enable split-frequency operation
- < 200us PLL lock time, can be used for frequency hopping
- Built-in T/R switching
- TX and RX on same connector or use auxiliary RX port
- 16 digital I/O lines to control external devices like antenna switches
- Built-in analog RSSI measurement (all except for RFX400)
- 70 dB of AGC range (except for RFX400 with 45dB)
- Adjustable transmit power
- Full-duplex capable (with some limitations)



BOARDS

RFX400

- Frequency Range: 400 to 500 MHz
- Transmit Power: 100mW (20dBm)

The frequency range of the RFX400 makes it ideal for UHF TV, public safety and land-mobile communications, low-power unlicensed devices (like key-fobs), wireless sensor networks (motes), and amateur radio. Additionally, minor modifications to the board can move the frequency range to anywhere from 200 MHz to 800 MHz (contact Ettus Research for details).

RFX900

- Frequency Range: 750 to 1050 MHz
- Transmit Power: 200mW (23dBm)

The RFX900 comes with a 902-928 MHz ISM-band filter installed for filtering strong out-of-band signals (like pagers). The filter can easily be bypassed to allow usage over the full frequency range, enabling use with cellular, paging, motes, and two-way radio, in addition to the ISM band.

RFX1200

- Frequency Range: 1150 to 1450 MHz
- Transmit Power: 200mW (23dBm)

Coverage of navigation, satellite, and amateur bands.

RFX1800

- Frequency Range: 1.5 to 2.1 GHz
- Transmit Power: 100mW (20dBm)

Coverage of DECT, US-DECT, and PCS (including unlicensed) frequencies.

RFX2400

- Frequency Range: 2.3 to 2.9 GHz
- Transmit Power: 50mW (17dBm)

The RFX2400 comes with a bandpass filter around the ISM band (2400-2483 MHz). The filter can be easily bypassed, allowing for coverage of the full frequency range.

ANNEXE C

Caractéristiques de l'amplificateur de puissance MPA-0925

RF BAY, Inc.

www.rfbayinc.com

MPA-0925

MPA Series

850-1000MHz 5W RF Power Amplifier

Features

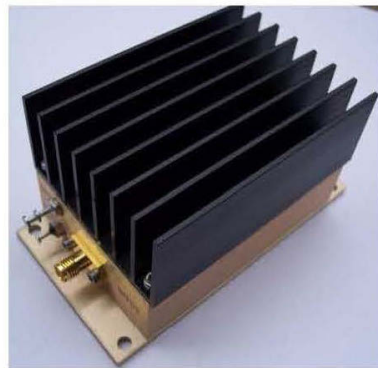
- Frequency Range: 850-1000MHz
- Gain: 40dB
- P_{out}: +37dBm
- IP3: +47dBm
- Noise Figure: 6dB
- DC Power: 9V
- SMA Connector

Performance measured @ 925MHz

Description

MPA-0925 is a 5Watt (+37dBm) output RF Power Amplifier operating from single 9V DC power supply with frequency from 850MHz to 1000MHz.

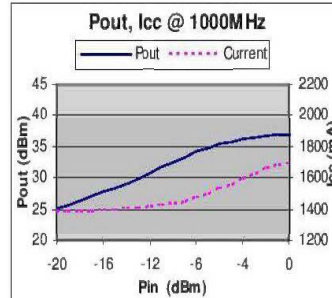
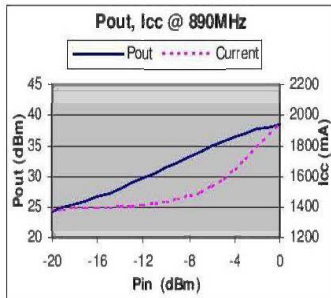
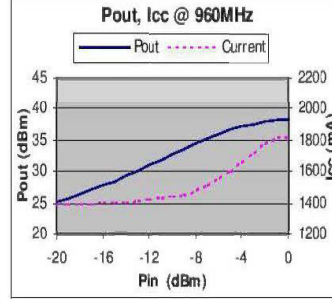
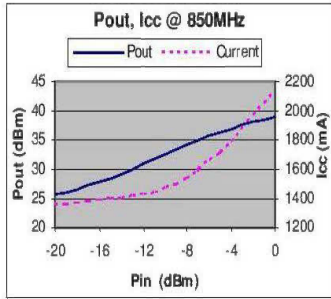
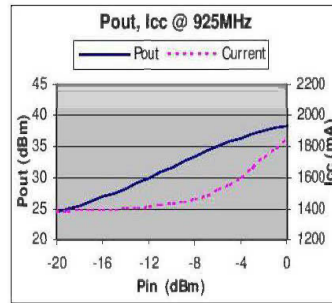
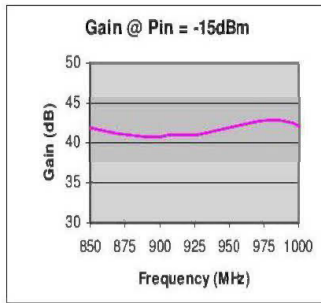
Picture



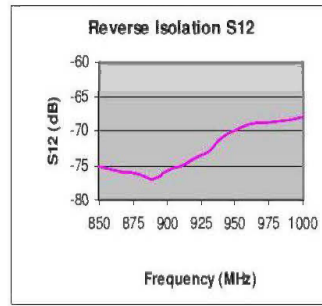
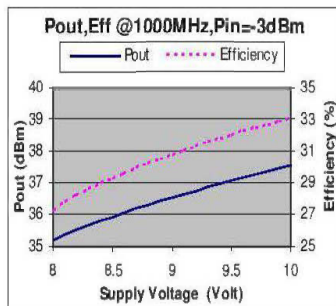
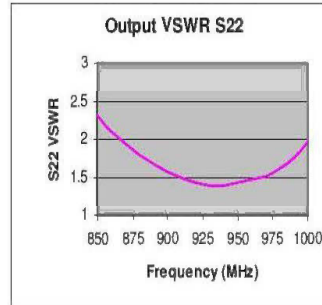
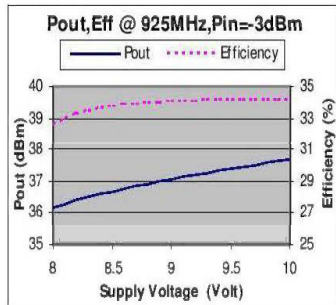
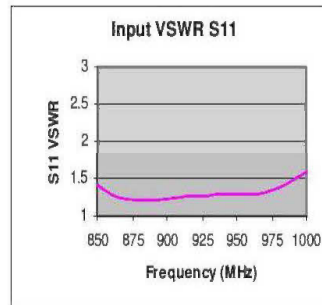
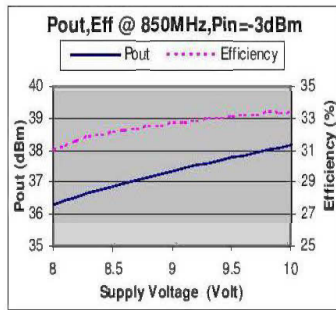
Electrical Specifications @ +25 °C, Z_s = Z_L = 50 Ω, V_{cc} = 9V

Parameter	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Frequency Range	MHz	850		1000
Small Signal Gain	dB	40	41	
Output Power P _{out} @ P _{in} = -3dBm	dBm		+37	
IP3	dBm		+47	
Reverse Isolation	dB		-75	
Noise Figure	dB		6.0	
Efficiency at P _{out} = +37dBm	%		33	
VSWR				
Input			1.3:1	
Output			1.5:1	
DC Power Supply	V		9	
Supply Current	mA		1650	
Size (Excluding SMA Connector)	inch	3.750" x 2.000" x 1.813"		
Weight	Oz.	8		

Typical Performance @ +25 °C



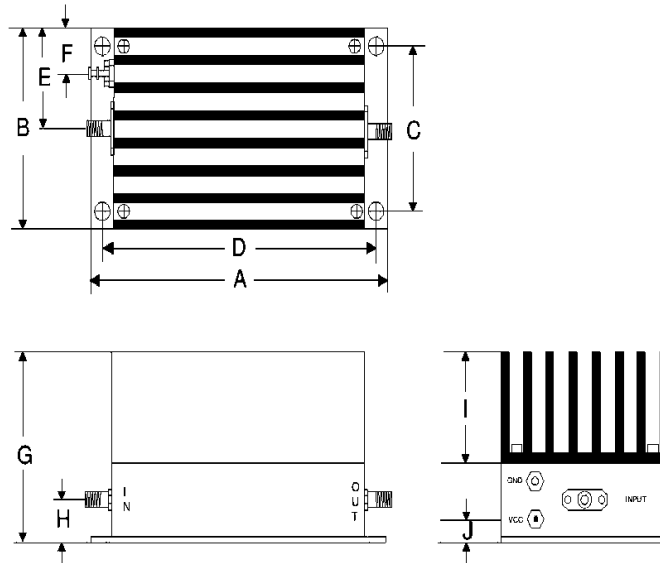
Typical Performance @ +25 °C



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Absolute Maximum
RF Input Power	+10dBm
Supply Voltage	+12V
Operating Temperature	-30 °C to +65 °C
Storage Temperature	-55 °C to +100 °C

Outline



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Inch	3.750	2.000	1.750	3.400	1.000	0.400	1.813	0.375	1.000	0.238
mm	92.25	50.80	44.45	86.36	25.40	10.16	46.05	9.53	25.40	6.03

ANNEXE D:

Caractéristiques de l'amplificateur à faible bruit LNA-1000

RF BAY, Inc.
www.rfbayinc.com

LNA-1000

LNA Series

10 – 1000MHz Low Noise Amplifier

Features

- Frequency Range: 10-1000MHz
- Gain: 33dB
- P_{1dB}: +11dBm
- IP3: +23dBm
- Noise Figure: 2.0dB
- DC Power: 12V
- SMA Connector

Picture



Performance measured @ 500MHz

Description

LNA-1000 is a wideband Low Noise Amplifier operates with frequency range usable from 10 to 1000MHz.

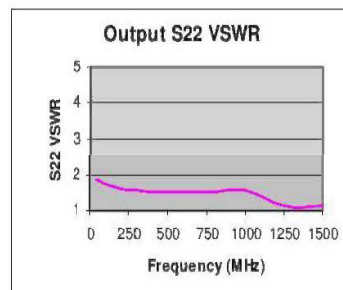
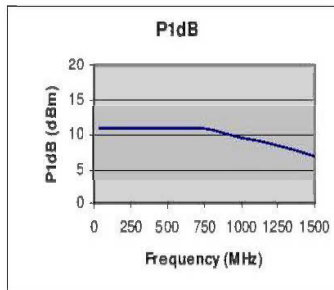
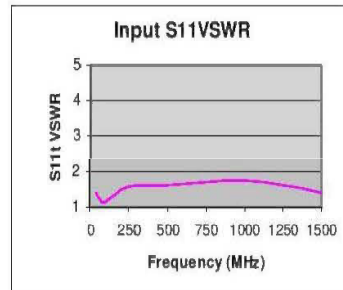
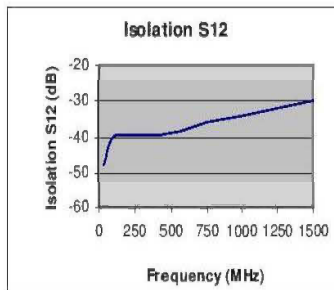
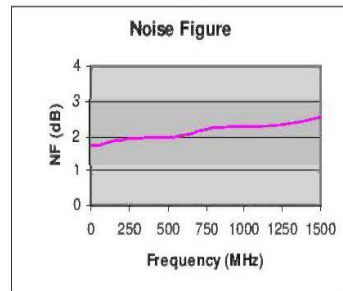
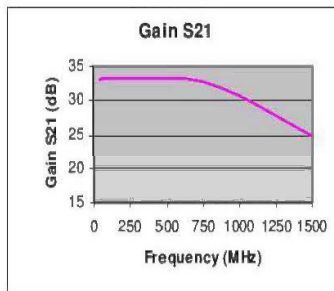
Electrical Specifications @ +25 °C

Parameter	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Frequency Range	MHz	10		1000
Gain f = 40MHz	dB		33	
f = 500MHz	dB		33	
f = 1000MHz	dB		30	
P _{1dB} f = 40MHz	dBm		+11	
f = 500MHz	dBm		+11	
f = 1000MHz	dBm		+9	
IP3 f = 500MHz	dBm		+23	
Noise Figure f = 40MHz	dB		1.8	
f = 500MHz	dB		2.0	
f = 1000MHz	dB		2.3	
VSWR f = 500MHz				
Input VSWR			1.5:1	
Output VSWR			1.5:1	
DC Power Supply	V	9	12	15
Supply Current	mA		35	

Rev.1/06

1

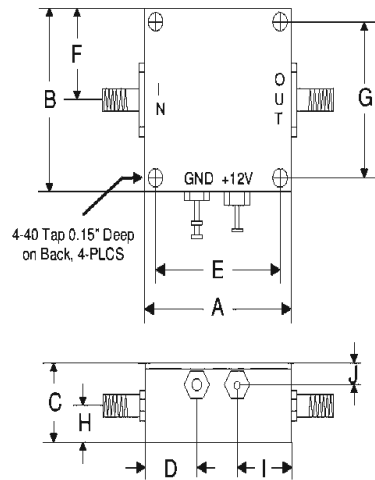
Typical Performance @ +25 °C



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Absolute Maximum
RF Input Power	+13dBm
Supply Voltage	+16V
Operating Temperature	-40 °C to +85 °C
Storage Temperature	-55 °C to +125 °C

Outline



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Inch	1.250	1.250	0.563	0.450	1.000	0.625	1.000	0.250	0.500	0.187
mm	31.75	31.75	14.29	11.43	25.40	15.88	25.40	6.35	12.70	4.76

ANNEXE E

Caractéristiques de duplexeur AB832B477

	ANATECH ELECTRONICS, INC. Manufacturer of RF & Microwave Filters and Products	
	800MHz Filter	

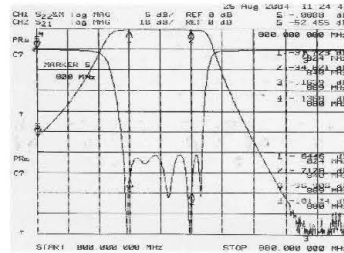
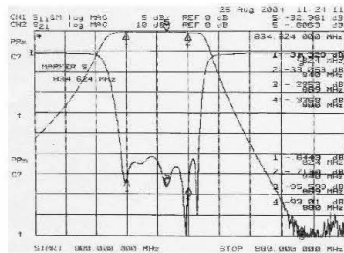
Part Number: AB832B477



- ◆ Low insertion loss
- ◆ Excellent harmonic rejection
- ◆ Compact size
- ◆ Stable over temperature range
- ◆ Suitable for use in CDMA 800 MHz base station

Specification

Frequency	824~840 MHz
Insertion Loss (max)	1.0 dB
Return Loss (min)	19 dB
Rejection	>95 dB 869~885 MHz
	>20 dB 6.0~12.75 GHz
RTE vs. Rx (dB) (max)	30 ± 1.0 dB
Operation Temperature	-40 ~ +85°C
Size	205 × 100 × 48 mm ³



ANATECH ELECTRONICS INC. 70 Outwater Lane, Garfield, NJ 07026 Tel: (973) 772-4242 Fax: (973) 772-4646
 E-Mail: sales@anatechelectronics.com Website: www.anatechelectronics.com


 Our Webstore
www.amcrf.com

ANNEXE F

Caractéristiques de l'antenne 288-PW

PowerMax™ SERIES 288-PW



18" CELLULAR ANTENNA

9 dB GAIN DUAL BAND



Digital Antenna's 288-PW is a universal dual band cellular antenna ideal for many applications including boats, RVs, homes, and offices. This 9 dB gain cellular antenna improves signals on cellular (810-900 MHz) and PCS (1800-1990 MHz) bands offering excellent performance in a compact design. The 288-PW PowerMax™ antenna is the same outside antenna that is sold as part of the 4KSBR-50U and 4KMR-30U amplifier/repeater systems. When communication is critical, our award-winning antennas make the connection.

PowerMax™ Series: 288-PW

Mount: L-bracket for pole/wall.

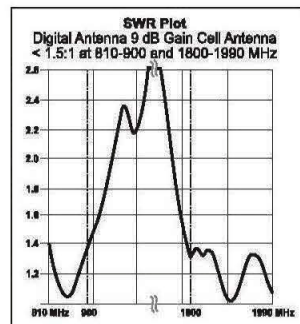
Connector: Highest quality Type N female.

Cable: Not included – Use Digital Antenna's PowerMax™ cable.

Use Model #F114 to mount 1" - 14 threaded mount

Features

- Powerful brass radiators with 9dB Gain.
- Soldered connections.
- Power directing ferrite choke bead.
- High gloss urethane finish.



Product Technical Specifications

P/N 288-PW

Radiation Pattern	Omnidirectional
Gain	9 dBi
Bandwidth VSWR	< 1.5:1 = 810 - 900 and 1800 - 1990 MHz
Impedance	50 ohms
Max Input Power	200 watts
Dimensions	18" l x 1" OD
Weight	8 oz.
Exterior Finish	White, UV stable poly-urethane coating
Ferrule	316 Stainless Steel
RF Connector	Type N female
Wind Rating	135 mph
Installation	Supplied L-bracket for pole/wall



Digital Antenna, Inc.
www.digitalantenna.com

5325 NW 108th Avenue
Sunrise, FL 33351

t 954.747.7022
f 954.747.7088