

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Remerciements</b> .....	ii
<b>Table des matières</b> .....	iii
<b>Liste des figures</b> .....	vi
<b>Liste des tableaux</b> .....	viii
<b>Résumé</b> .....	ix
<b>Glossaire</b> .....	x
<b>Chapitre 1</b> .....	1
<b>Introduction</b> .....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Problématique de localisation .....	2
1.3 Structure du mémoire .....	3
<b>Chapitre 2</b> .....	5
<b>Radio définie par logiciel-SDR</b> .....	5
2.1 Introduction.....	5
2.2 Avantages du SDR .....	6
2.2.1 Multi-bandes .....	6
2.2.2 Multi-canaux.....	7
2.2.3 Multi-modes .....	7
2.2.4 Multi-Bande Passante.....	7
2.3 Universal Software Radio Peripheral (USRP) .....	8
2.3.1 Les convertisseurs A/N et N/A.....	9
2.3.2 Les cartes filles .....	10

2.4	GNU radio .....	12
2.4.1	GNU radio Companion (GRC).....	13
2.4.1.1	Exemple GRC.....	13
2.5	Conclusion .....	14
<b>Chapitre 3 .....</b>		<b>16</b>
<b>Techniques de radiolocalisation .....</b>		<b>16</b>
3.1	Introduction.....	16
3.2	Techniques basées sur une modélisation mathématique du canal de propagation	17
3.2.1	Puissance du signal reçu (RSS-Received Signal Strength) .....	17
3.2.2	Angle d'arrivée du signal (AOA- Angle Of Arrival).....	19
3.2.3	Temps d'arrivée du signal (TOA- Time Of Arrival).....	20
3.2.4	Différence de temps d'arrivée du signal (TDOA – Time Difference Of Arrival) .....	22
3.3	Techniques basées sur l'approche radar .....	24
3.3.1	Différents types de radar .....	26
3.3.1.1	Radar à impulsions.....	26
3.3.1.2	Radar à ondes continues .....	28
3.4	Conclusion .....	34
<b>Chapitre 4 .....</b>		<b>36</b>
<b>Approches proposées .....</b>		<b>36</b>
4.1	Introduction.....	36
4.2	Méthode fréquentielle.....	36
4.3	Méthode temporelle.....	38
4.4	Méthode GPS .....	40
4.4.1	APRS.....	40

a.	Les matériels de l'APRS .....	43
b.	Configuration d'une station APRS .....	46
c.	Message APRS .....	47
4.5	APRS-USRP : .....	50
4.6	Conclusion .....	52
	<b>Chapitre 5</b> .....	<b>53</b>
	<b>Résultats</b> .....	<b>53</b>
5.1	Introduction .....	53
5.2	MT-AIO (Micro-Trak All-In-One) .....	53
5.3	Radio KENWOOD TH-D72A .....	57
5.4	Conclusion .....	63
	<b>Chapitre 6</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
	<b>Conclusion</b> .....	<b>64</b>
6.1	Suggestions de travaux futurs .....	65
	<b>Annexe A</b> .....	<b>66</b>
	<b>Annexe B</b> .....	<b>68</b>
	<b>Annexe C</b> .....	<b>69</b>
	<b>Annexe D</b> .....	<b>72</b>
	<b>Bibliographie</b> .....	<b>74</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Zones lointaines .....	2
Figure 2.1: Schéma d'un système de communication idéal SDR [4].....	5
Figure 2.2: Schéma de principe d'un SDR qui est formé d'un GNU radio et de l'USRP [4]....	8
Figure 2.3: Bloc-diagramme de l'USRP [9].....	9
Figure 2.4: Chaîne de transmission et de réception du bloc GRC .....	13
Figure 2.5: GNU radio Companion GRC.....	14
Figure 3.1: Principe de la technique RSS.....	18
Figure 3.2: Technique de localisation basée sur l'angle d'arrivée du signal reçu [1] .....	19
Figure 3.3: Temps d'arrivée du signal (TOA) .....	21
Figure 3.4: TOA.....	22
Figure 3.5: Différence de temps d'arrivée du signal (TDOA) [1] .....	23
Figure 3.6: Schéma général du radar (a) mono-statique (b) bi-statique [14].....	25
Figure 3.7: Schéma général d'un radar [14] .....	25
Figure 3.8: Principe de mesure de la distance antennes cibles avec un radar à impulsions [5] .....	27
Figure 3.9: Schéma du radar à onde continue CW [5] .....	29
Figure 3.10: Modulation FMCW: les fréquences instantanées à l'émission et la réception... 30	
Figure 3.11: Schéma du signal sorti de radar FMCW [17].....	33
Figure 3.12: Schéma du radar FMCW [5].....	34
Figure 4.1: Méthode temporelle.....	38
Figure 4.2: Déphasages temporels .....	39
Figure 4.3: Réseau international de localisation APRS en direct sur Internet. [23].....	42
Figure 4.4: Quelques modèles de TNC externe [21] [26] .....	44
Figure 4.5: Schéma de radio avec l'APRS [26].....	45
Figure 4.6: Station APRS mobile [21] .....	46
Figure 4.7: Calcul et transmission de la position à partir des signaux GPS reçus. [29] .....	47
Figure 4.8: Réception du signal par la station de base APRS (le logiciel APRS installé sur le PC affiche les positions sur la carte) [29].....	48

Figure 4.9: Schéma du programme TINY-TRAK [32] .....	50
Figure 4.10: Adaptation d'un système APRS sur une station de base SDR .....	51
Figure 5.1: Schéma de MT-AIO APRS Transmitter [31].....	54
Figure 5.2: Les deux canaux de MT-AIO APRS Transmitter. ....	55
Figure 5.3: Réception des coordonnées GPS sur USRP.....	55
Figure 5.4: Résultats préliminaires de localisation à Val-d'Or.....	56
Figure 5.5 : Radio KENWOOD TH-D72A.....	57
Figure 5.6 : Schéma blocs de la chaîne d'émission du signal vers le TH-D72A.....	58
Figure 5.7 : Message reçu par le radio TH-D72A.....	59
Figure 5.8 : Chaîne de réception du signal TH-D72A .....	60
Figure 5.9: Réception du signal TH-D72A sur le GNU radio .....	60
Figure 5.10: Les résultats de localisation avec le radio TH-D72A à Val-D'Or.....	61
Figure 5.11 : Puissance du signal reçu en fonction de la distance .....	62

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 2.1: Cartes filles de l'USRP [7].....	11
Tableau 2.2: Différentes versions de l'USRP [7].....	12
Tableau 3.1: Comparaison entre les radars CW/FMCW et les radars impulsionnels .....	35
Tableau 4.1: Fréquence VHF de l'APRS. [27].....	46
Tableau 4.2: Liste des symboles de l'APRS [32] .....	49
Tableau 5.1: Spécifiques de MT-AIO [31].....	54
Tableau 5.2 : Les résultats de localisations .....	62

## RÉSUMÉ

Ce travail de recherche s'inscrit dans un projet plus global appelé Sécurinet, dont l'idée maîtresse est de mettre en place des stations de base à faibles coûts dans les zones lointaines où il n'y a pas de couverture de radiocommunications. Notre projet consistait à développer des techniques permettant la localisation des personnes dans ces zones, avec une balise RF (Radio Fréquence), en plus d'allouer l'échange bidirectionnel entre la station de base et les personnes dans les cas d'urgence avec une identification de ces personnes.

Les stations de base choisies pour le projet sont celles qui sont basées sur la radio définie par logiciel (SDR- Software Defined Radio). Le SDR est formé de deux parties, une partie logicielle comme le GNU radio et une partie matérielle comme l'USRP (Universal Software Radio Peripheral).

La technique de localisation utilisée est celle qui est basée sur le GPS. La balise RF choisie est l'APRS (Automatic Packet Reporting System), un système en utilisation libre (Open Source) qui est formé d'un GPS qui reçoit les coordonnées (x,y,z) des satellites, les décode et les envoie à partir d'un émetteur radio vers la station de base.

L'idée principale pour ce mémoire est l'adaptation de la technique APRS (balise RF) sur la station de base qu'on a choisie pour localiser les personnes. Les résultats obtenus montrent que la localisation des personnes et leur identification est possible et ceci a été validé avec des essais expérimentaux à Val d'Or. On a montré également que l'échange bidirectionnel d'un message écrit entre la station de base et la balise RF est tout à fait possible de même que la communication verbale entre toutes les personnes qui utilisent cette balise.

## GLOSSAIRE

**GPS:** Global Positioning System.

**USRP:** Universal Software Radio Peripheral.

**SDR:** Software-Defined Radio.

**SWR:** Software Radio.

**FI:** Fréquence Intermédiaire.

**CAN :** Convertisseur Analogique Numérique.

**CNA :** Convertisseur Numérique Analogique.

**ASIC:** Application-Specific Integrated Circuit.

**FPGA:** Field-Programmable Gate Array.

**TOA:** Time of Arrival.

**TDOA:** Time Difference of Arrival.

**RSS:** Received Signal Strength.

**CW:** Continuous Wave.

**FMCW:** Frequency Modulation Continuous Wave.

**TNC:** Terminal Node Controller.

**AOA:** Angle of Arrival.

**MT-AIO:** Micro-Trak ALL-In One



## CHAPITRE 1

### INTRODUCTION

#### 1.1 INTRODUCTION

Les communications sans fil connaissent une très grande croissance mondiale, car il est devenu plus économique et plus rapide d'installer des réseaux sans fil que de mettre en place une infrastructure filaire pour assurer la couverture géographique.

Depuis quelques années, les techniques de radiolocalisation sont devenues de plus en plus importantes dans la vie quotidienne. Ces techniques permettent de connaître la position plus ou moins exacte d'un mobile (un individu ou un objet) dans un environnement donné. Une des applications les plus importantes de ces techniques est la radiolocalisation des mobiles lors d'un appel d'urgence.

Les systèmes de radiolocalisation sont aussi utilisés dans plusieurs domaines. On utilise les systèmes de radiolocalisation dans le domaine médical pour localiser les personnes qui souffrent de pertes de mémoire associées à la maladie d'Alzheimer par exemple. On peut aussi utiliser ces systèmes pour la surveillance des enfants de manière à les retrouver plus facilement en cas de problème. Ce système est aussi utilisé dans le domaine de la sécurité publique, comme le service 911 en Amérique du Nord, qui l'utilise pour identifier plus rapidement l'endroit où se trouvent les personnes munies d'un téléphone cellulaire impliquées dans un accident et qui ne connaissent pas toujours leur position. Plusieurs automobiles sont aujourd'hui équipées de récepteurs GPS et sont donc retrouvées plus facilement par la police en cas de vol. Ces systèmes sont aussi utilisés dans le domaine militaire où ils servent essentiellement à l'espionnage ou au suivi de missions militaires [1].

Dans ce projet, on cherche à profiter des avantages d'un tel réseau dans les endroits où il ne peut y avoir de câbles comme dans les forêts par exemple. Il est important d'avoir

des points d'accès pour localiser les êtres humains qui se présentent dans ces zones qui ne sont pas couvertes par les systèmes de communication habituels afin d'assurer leur sécurité.

## 1.2 PROBLÉMATIQUE DE LOCALISATION

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'un projet plus grand, le projet Sécurinet dont l'idée est de déployer des stations de base dans les zones lointaines (par exemple: nord du Canada, dans les vastes forêts...) pour permettre des radiocommunications là où il n'y a pas de couverture. Ce concept est illustré schématiquement à la figure 1.1.

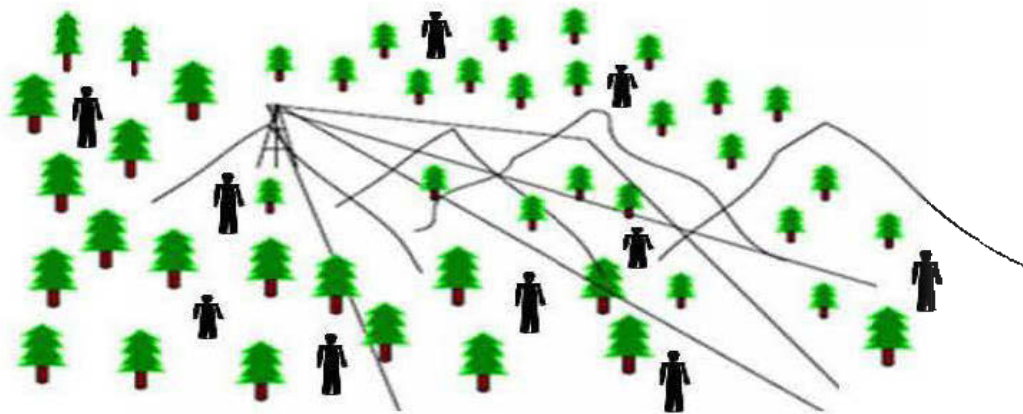


Figure 1.1: Zones lointaines

La problématique, dans ce projet, est de mettre en place des stations de base dans ces zones, avec les caractéristiques suivantes :

- Supporte une faible densité d'utilisateurs.
- Met en œuvre des stations de base multi-modes.
- Offre des services des communications traditionnels (GSM, VHF etc.) et des services de localisation des personnes, notamment pour les situations d'urgence.
- Offre les meilleurs compromis pour les portées de communication et les coûts.

Dans les zones lointaines où il n'y a ni communications ni beaucoup d'êtres humains, comme les vastes forêts et le nord du Canada, il y a beaucoup des personnes qui s'y rendent

pour des activités diverses, par exemple la pêche ou le camping ou toute autre activité et, lorsque quelqu'un est perdu ou qu'il est victime d'une situation d'urgence, il doit être en mesure de faire un appel à l'aide. Pour ces raisons, la localisation dans ces zones est très importante.

La problématique de notre projet est de mettre des stations de base qui sont capables de localiser de personnes étiquetées ou labellisées avec des balises RF à très faible coût. La balise RF supporte aussi des échanges fiables permettant de confirmer à la personne la prise en charge de sa situation d'urgence, de l'arrivée des secours et avoir une portée de localisations jusqu'à quelques km (si c'est possible), avec l'identification de chaque personne.

### 1.3 STRUCTURE DU MÉMOIRE

Le premier chapitre de ce mémoire est une introduction à la localisation-radio et aux télécommunications sans fil.

Au second chapitre, on réalise l'état de l'art de la station de base et de la radio définie par logiciel, les caractéristiques et les avantages de cette station qui est formée de deux parties, la partie matérielle et la partie logicielle. On utilise pour la partie logicielle, une plateforme en utilisation ouverte (open source), le GNU radio, et pour la partie matérielle, le frontal « Universal Software Radio Peripheral (USRP) » pour la réalisation de la station de base.

Les principales techniques de localisation sont présentées au troisième chapitre. Il existe deux principales catégories de techniques de localisation. La première, c'est la technique qui est basée sur la modélisation mathématique du canal de propagation. La deuxième est la technique basée sur l'approche radar.

Au quatrième chapitre, on présente les approches proposées dans ce projet. Il y a fondamentalement trois méthodes, à savoir la méthode fréquentielle, la méthode temporelle et la méthode GPS. La méthode choisie est le GPS (Global Positioning System), et l'APRS (Automatic Packet Reporting System) est la balise RF (Radio Fréquence) qui a été

sélectionnée pour la localisation dans cette méthode. L'idée fondamentale est de faire l'adaptation de la technique APRS sur une station de base SDR.

Le cinquième chapitre présente les résultats de mesures prises pour la localisation de personnes dans la région de Val d'Or.

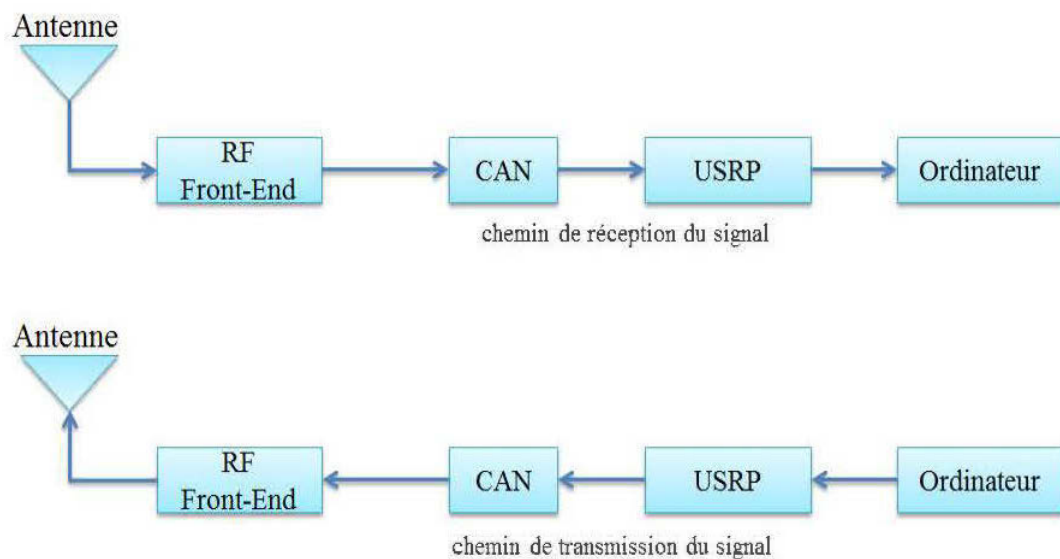
Finalement, on élabore une conclusion générale sur tous les résultats obtenus avec nos travaux. On indique aussi des prolongements possibles de ce travail.

## CHAPITRE 2

### RADIO DÉFINIE PAR LOGICIEL-SDR

#### 2.1 INTRODUCTION

La Radio définie par logiciel « Software Radio SWR » a été proposée en 1991 par le professeur Joseph Mitola, qui a publié un premier article sur le sujet en 1992 [4]. Cet article met de l'avant une proposition pour une nouvelle technologie radio à faible coût et à faible consommation d'énergie, permettant la réalisation de terminaux et d'infrastructures de stations de base radio capable de supporter, indépendamment du matériel, un fonctionnement multi-services, flexible, multi-bandes, reconfigurable à distance et reprogrammable par logiciel [2] [3].



**Figure 2.1:** Schéma d'un système de communication idéal SDR [4]

Une radio définie par logiciel (SDR) est un système de communication radio qui effectue une modulation et une démodulation du signal radio en logiciel [4] [13]. Cependant,

il est clair que la philosophie derrière le concept de SDR est que le logiciel devrait fonctionner aussi proche que possible de l'antenne et ce logiciel devrait fonctionner sur un ordinateur à usage général. La Figure 2.1 représente le bloc-diagramme d'un SDR idéal.

Un SDR est un émetteur-récepteur radio qui est formé de deux parties, à savoir la partie logicielle et la partie matérielle. En réception, le Front-End RF convertit le signal reçu à partir de sa fréquence porteuse à une fréquence intermédiaire (FI) ou en bande de base. En émission, le Front-End RF convertit le signal en bande de base à une fréquence intermédiaire (FI) et, par la suite, à la fréquence porteuse souhaitée. Dans les deux cas, le Convertisseur Analogique Numérique (CAN) / Convertisseur Numérique Analogique (CNA) convertit le signal sur la bande passante de modulation. Les traitements suivants (filtrage, décimation, démodulation, décodage...) peuvent ensuite être réalisés de façon logicielle. Ces traitements sont réalisés à l'aide d'un microprocesseur dédié au traitement du signal (DSP, digital signal processor), d'un composant dédié au traitement du signal (ASIC : Application Specific Integrated Circuit), d'un composant électronique programmable (FPGA, Field Programmable Gate Array), ou directement sur le processeur d'un PC traditionnel.

## 2.2 AVANTAGES DU SDR

Le SDR est un candidat idéal pour l'utilisation variée, que ce soit une radio à un seul canal, en multi-canaux, sur une seule bande, sur de multi-bandes et en émetteurs-récepteurs multi-modes. L'avantage principal du SDR est sa capacité de fonctionner sur plusieurs canaux et modes en même temps, d'où la possibilité de changer les modes arbitraires parce que la bande passante du canal, le débit et la modulation sont tous déterminés par des logiciels flexibles. Les avantages principaux sont :

### 2.2.1 Multi-bandes

Une radio multi-bandes a la capacité d'opérer sur deux ou plusieurs bandes successivement ou simultanément, comme dans le cas d'une station de base où l'on peut combiner à partir de liens entre les différentes bandes.

### 2.2.2 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.

### 2.2.3 Multi-modes

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

### 2.2.4 Multi-Bande Passante

La multi-Bande passante est également un autre aspect du multi-mode. Une radio traditionnelle détermine la largeur du canal avec un filtre analogique fixe. Cependant, un SDR détermine la bande passante du canal en utilisant des filtres numériques qui peuvent être modifiés. Les filtres numériques peuvent être adaptés pour la distorsion de la voie de transmission. Ces caractéristiques sont difficiles à réaliser avec des filtres analogiques.

Un GNU radio est une ressource publique (open source) de logiciels et le GNU radio est devenu aujourd'hui une architecture pour le SDR. Le logiciel est composé de codes matériels indépendants du traitement du signal et dépendants du code matériel de l'interface, ce qui assure le lien entre le code de traitement du signal en cours d'exécution sur un ordinateur à usage général et le matériel radio réel (c.-à-d. ADC / DAC ou FPGA).

L'USRP (Universal Software Radio Peripheral) est le matériel le plus utilisable avec le GNU radio. En fait, la figure 2.2 montre le schéma du SDR lorsque le logiciel GNU radio fonctionnant sur un ordinateur à usage général est utilisé pour communiquer avec un USRP.

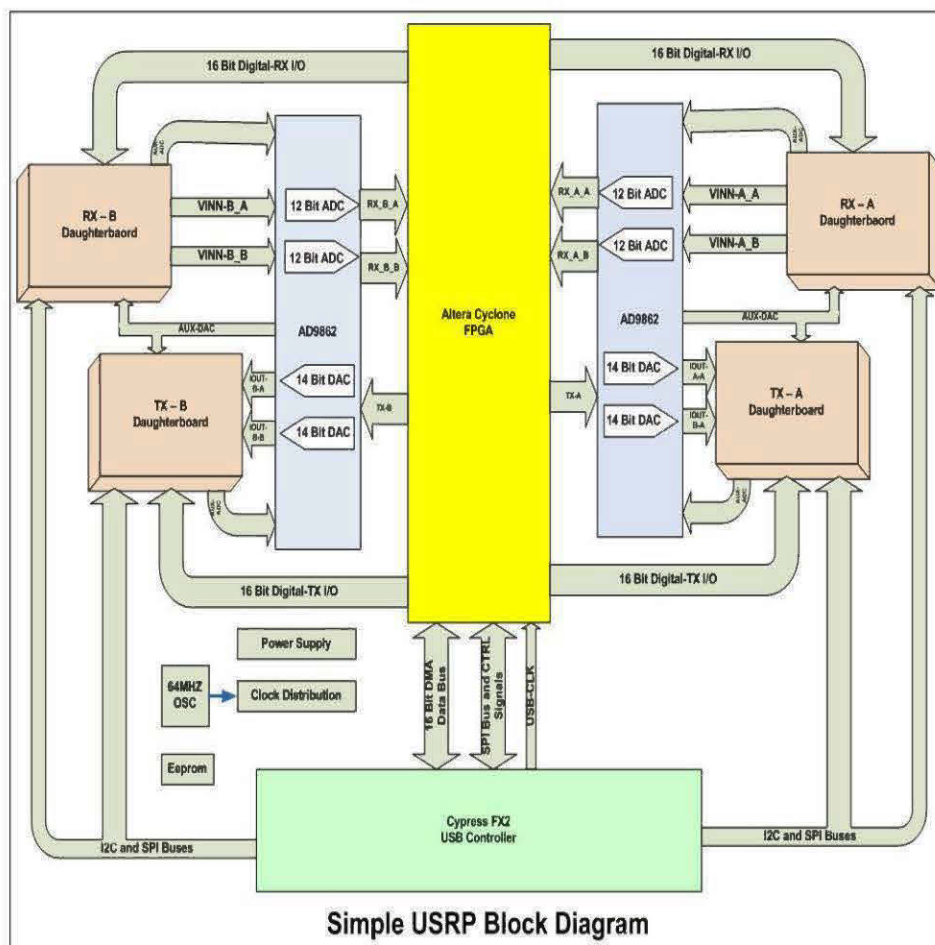


Figure 2.3: Bloc-diagramme de l'USRP [9]

### 2.3.1 Les convertisseurs A/N et N/A

L'USRP est constitué de CAN, de CNA, d'un FPGA et d'un interface USB2.0 ou Ethernet de quatre chaînes, deux pour l'émission (TXA, TXB) et deux pour la réception (RXA, RXB) tel qu'indiqué à la Figure 2.3.

Le convertisseur analogique-numérique (CAN) a pour rôle de convertir les signaux analogiques reçus par l'USRP en signaux numériques. Il y a 4 CAN dans l'USRP, la résolution de chaque convertisseur est de 12 bits et la fréquence d'échantillonnage de chacun est de 64 MHz (ou 64 Méga échantillons par seconde). Il peut donc numériser un signal de largeur de bande de 32 MHz au maximum. Ceci est une limitation, car il ne peut pas recevoir des signaux ayant une bande passante de plus de 32 MHz. En plus, avant le CAN à la



réception du signal, il y a un amplificateur à gain programmable (PGA) qui amplifie le signal à l'entrée dans le cas où le signal est faible. Il peut l'amplifier jusqu'à 20 dB.

Dans le cas de transmission des signaux par l'USRP, il y a encore quatre convertisseurs numérique-analogique qui convertissent les signaux du numérique à l'analogique. Chacun de ces convertisseurs a une résolution de 14 bits et une fréquence d'échantillonnage de 128 MHz. Donc, ils peuvent numériser un signal d'émission ayant une largeur de bande maximale de 64 MHz [4].

### 2.3.2 Les cartes filles

Les cartes filles constituent l'interface analogique entre l'USRP et l'extérieur. Elles ont pour principal objectif de recevoir et de transmettre des signaux. Il y a quatre ports sur la carte mère et on peut brancher deux cartes filles réceptrices RX et deux cartes filles émettrices TX ou 2 cartes RFX qui peuvent transmettre et recevoir simultanément. Il y a deux ports pour l'émission, appelés TXA et TXB et deux ports pour la réception RXA et RXB. Chacun de ces ports a accès à deux ou quatre convertisseurs A/N ou N/A. Chaque carte fille doit avoir deux chemins RF indépendants et deux antennes. Le tableau 2.1 donne les différents modèles des cartes filles qui ont été utilisées avec l'USRP et leurs caractéristiques.

Modèle	Type	Fréquence	Bande-passante (MHz)	Puissance (mW)
TVRX2	Rx	50MHz-860MHz	10	N/A
RFX900	Tx/Rx, Full-Duplex	750MHz-1050MHz	30	200
RFX1200	Tx/Rx, Full-Duplex	1150MHz-1450MHz	30	200
RFX1800	Tx/Rx, Full-Duplex	1.5GHz-2.1GHz	30	100
RFX2400	Tx/Rx, Full-Duplex	2.3GHz-2.9GHz	30	50

WBX	Tx/Rx, Full-Duplex	50MHz-2.2GHz	40	100
SBX	Tx/Rx, Full-Duplex	400MHz-4.4GHz	40	100
XCVR2450	Tx/Rx, Half-Duplex	2.4GHz-2.5GHz	33	100
DBSRX2	Rx	800MHz-2.35GHz	1-60 MHz	N/A
LFTX	2 Tx	DC-30MHz	60	1
LFRX	2 Rx	DC-30MHz	60	N/A
BasicTX	2 Tx	1MHz-250MHz	100	1
BasicRX	2 Rx	1MHz-250MHz	100	N/A

**Tableau 2.1:** Cartes filles de l'USRP [7]

Le tableau 2.2 donne toutes les versions des cartes mères USRP de la compagnie ETTUS, avec la comparaison des caractéristiques principales :

Model	USRP1	USRP2	USRP N200	USRP N210	USRP E100
Canal RF	2TX/2RX	1TX/1RX	1TX/1RX	1TX/1RX	1TX/1RX
Connexion à l'hôte	USB 2.0	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	100 Mbit Ethernet
Bande passante RF	16 MHz	50 MHz	50 MHz	50 MHz	4-8 MHz
CAN	12-bits 64 MSPS	14-bits 100 MSPS	14-bits 100 MSPS	14-bits 100 MSPS	12-bits 64 MSPS

CNA	14-bits 128 MSPS	16-bits 400 MSPS	16-bits 400 MSPS	16-bits 400 MSPS	14-bits 128 MSPS
MIMO	OUI	OUI	OUI	OUI	NON
FPGA	Altera Cyclone	Xilinx Spartan XC3S2000	Xilinx Spartan XC3SD1800A	Xilinx Spartan XC3SD3400A	Xilinx Spartan XC3SD1800A

**Tableau 2.2:** Différentes versions de l'USRP [7]

## 2.4 GNU RADIO

Les problèmes matériels dans le SDR sont transformés en problèmes logiciels et la quasi-totalité du traitement est réalisé par un ordinateur. Cela permet une très grande flexibilité contrairement aux anciens systèmes très contraignants. Ceci est la philosophie du GNU radio combiné avec l'USRP.

Le GNU radio est un outil logiciel source ouverte (open-source) de développement qui fournit des blocs de traitement du signal pour mettre en œuvre les radios logicielles. Il est largement utilisé dans les environnements de la radio-amateur, académiques et commerciaux pour soutenir à la fois la recherche en communications sans fil et les systèmes de radio du monde réel. Les applications du GNU radio sont principalement écrites en utilisant le langage de programmation Python, tandis que la performance critique fournie la voie de traitement du signal et est implémenté en C++ en utilisant des processeurs à virgule flottante extensions, le cas échéant [9].

Les fonctions de traitement de signal GNU radio sont les suivantes [6] :

- Modulations analogiques : AM, PM, FM.
- Modulations numériques : PSK, QAM, FSK, OFDM...
- Filtres, FFT....

### 2.4.1 GNU radio Companion (GRC)

Le GNU radio Companion (GRC) est une interface utilisateur graphique, qui permet de concevoir une chaîne GNU radio et de regrouper le tout sous forme graphique, comme l'illustre la figure 2.5 ci-dessous. Les blocs de traitement du signal dans le GRC sont représentés graphiquement avec leurs paramètres.

#### 2.4.1.1 Exemple GRC

La figure 5 ci-dessous illustre un exemple d'une chaîne de transmission et d'une chaîne de réception d'un signal à partir d'un USRP.

Dans la chaîne de transmission, on a le bloc TCP source qui reçoit les données venant de System C et le bloc USRP Sink qui permet de contrôler l'USRP. Le rôle du bloc USRP Sink est d'envoyer les données vers l'USRP pour la transmission Radio. Tel qu'indiqué à la figure 2.4, les données analogiques sont modulées avec une fréquence porteuse de 2.5 GHz et amplifiée à travers un amplificateur RF de 20 dB, puis envoyées vers l'antenne.

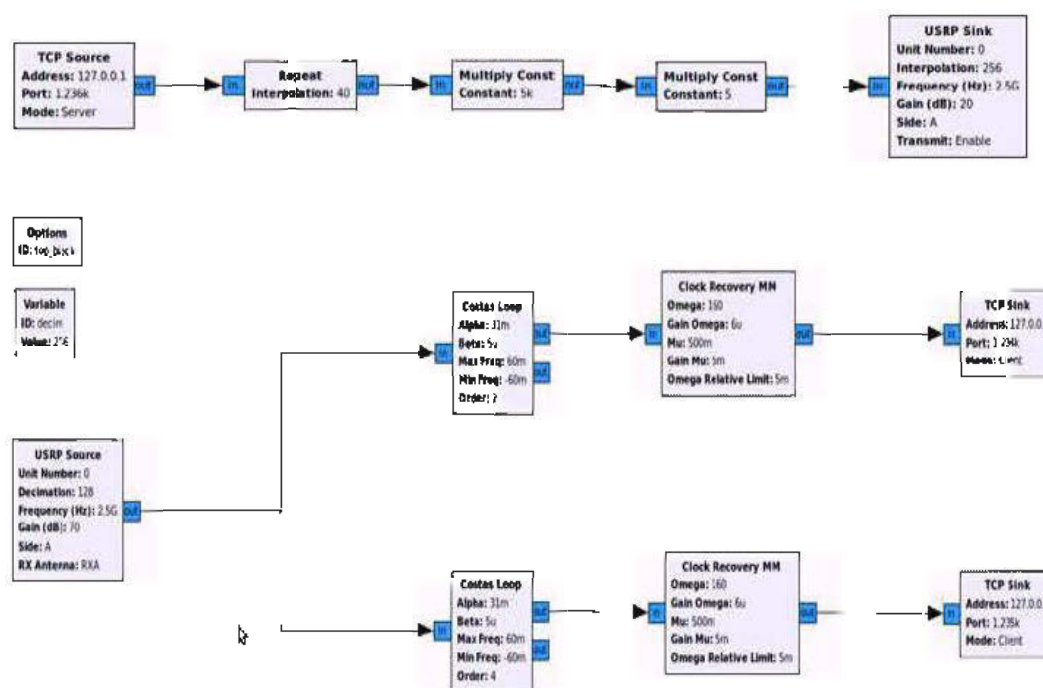


Figure 2.4: Chaîne de transmission et de réception du bloc GRC

Dans la chaîne de réception, on a le bloc USRP Source qui reçoit le signal et le démodule vers une fréquence intermédiaire grâce à son oscillateur local et l'envoi vers un bloc Sink, par exemple scop sink, qui joue alors le rôle d'un oscilloscope.

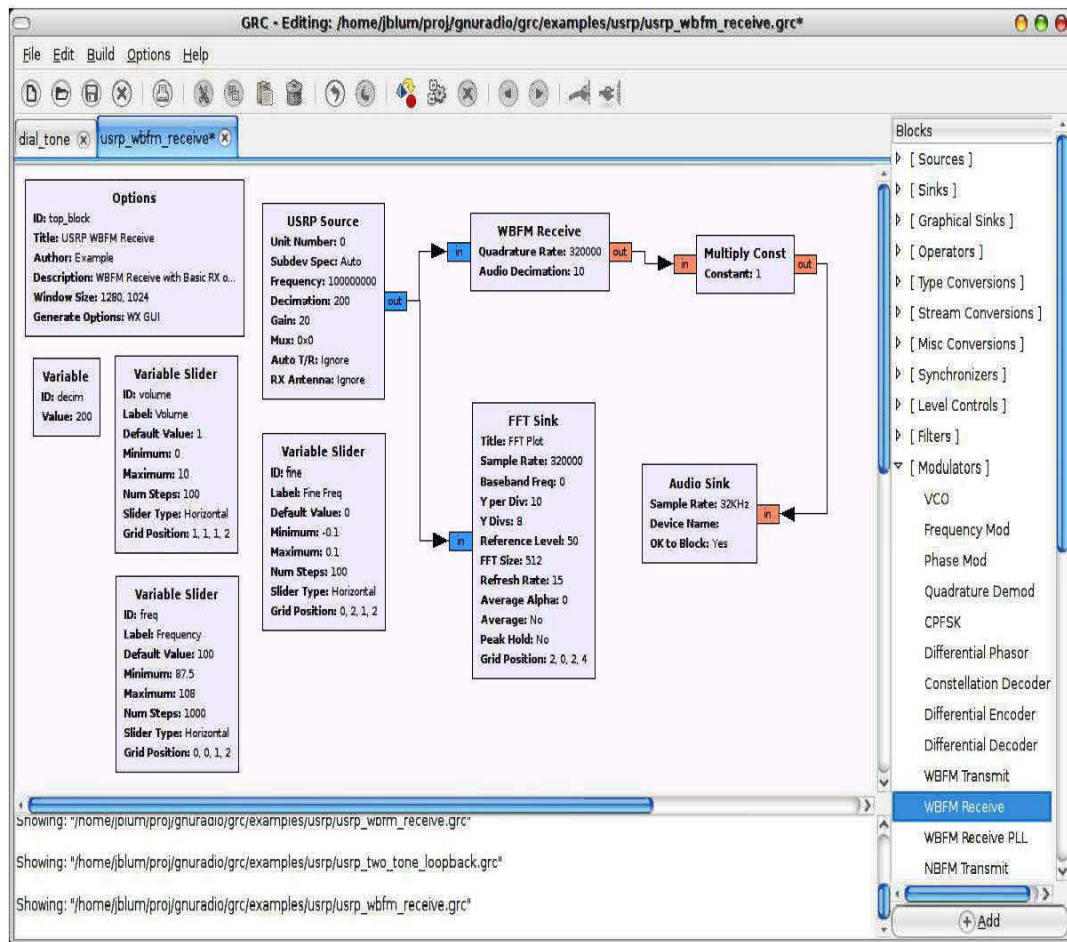


Figure 2.5: GNU radio Companion GRC

## 2.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a présenté la nouvelle technologie qu'est la radio définie par logiciel, qui permet d'effectuer une modulation et une démodulation du signal radio. Elle est formée d'une partie logicielle qui est le GNU radio qui fournit des blocs de traitement du

signal pour mettre en œuvre les radios logiciels, et d'une partie matérielle qui est l'USRP qui permet de transmettre et de recevoir un plus grand nombre de signaux radio.

La radio définie par logiciel SDR est utilisée comme une station de base dans notre projet, pour la localisation des personnes aux zones lointaines. L'avantage de cette technologie est qu'elle s'avère multi-bandes, Multi-canaux, Multi-modes, et Multi-Bande Passante.

## CHAPITRE 3

### TECHNIQUES DE RADIOLOCALISATION

#### 3.1 INTRODUCTION

La radiolocalisation est une technique qui permet de déterminer la position géographique d'un individu ou d'un appareil dans un environnement bien déterminé, susceptible d'être affiché sur une carte. Une des applications les plus récentes de cette technique est la localisation des mobiles lors d'un appel d'urgence. Cette technique est utilisée dans plusieurs domaines et pour plusieurs milieux, par exemple la localisation à l'intérieur des mines, la localisation à l'extérieur de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, la localisation des petits enfants ou des personnes âgées. La police utilise également cette technique pour la localisation de véhicules impliqués dans un accident ou lorsque les véhicules ont été volés. La localisation permet également de guider les robots dans des endroits difficilement accessibles ou contaminés pour exécuter différentes tâches.

L'objectif de la radiolocalisation en télécommunications est un peu différent, car il y a des stations de base avec des antennes intelligentes qui utilisent les signaux pour estimer la direction et la position du mobile, avec une très bonne précision. Pour cela, il existe de nombreuses techniques de localisation et les paragraphes suivants décrivent deux des principales techniques de radiolocalisation. La première regroupe les techniques dites traditionnelles, qui utilisent des algorithmes basés sur une modélisation mathématique du canal de propagation alors que la seconde utilise des algorithmes basés sur la théorie développée pour les radars.

### 3.2 TECHNIQUES BASÉES SUR UNE MODÉLISATION MATHÉMATIQUE DU CANAL DE PROPAGATION

Les techniques basées sur la modélisation mathématique du canal de propagation se distinguent par le paramètre de localisation qu'elles utilisent. Les paramètres les plus fréquents pour ces techniques sont la puissance des signaux reçus, l'angle d'arrivée des signaux reçus (Angle Of Arrival « AOA »), le temps d'arrivée des signaux reçus (Time Of Arrival « TOA ») et la différence des temps d'arrivée des signaux reçus (Time Difference Of Arrival « TDOA »).

#### 3.2.1 Puissance du signal reçu (RSS-Received Signal Strength)

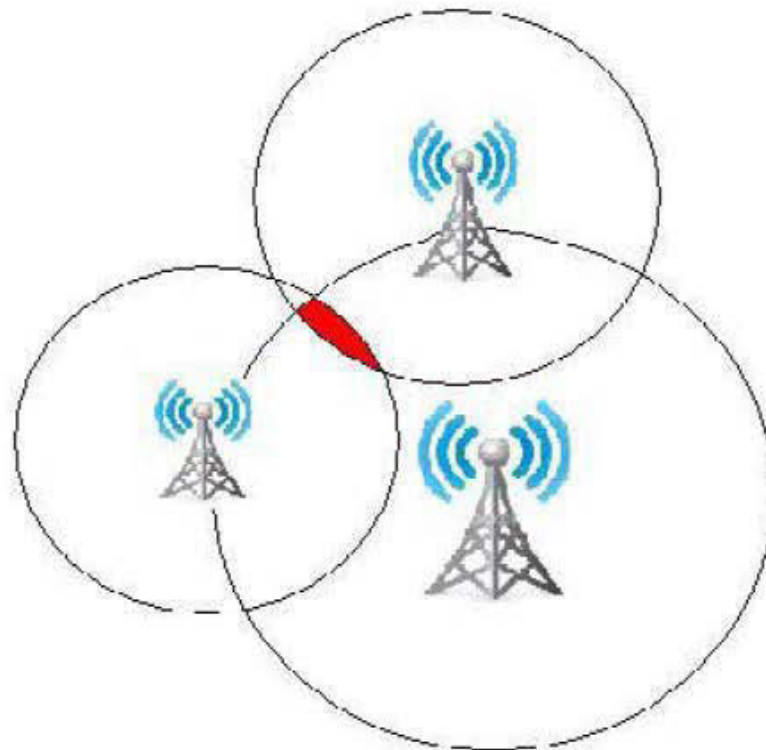
Cette technique détermine la distance entre le mobile et la station de base à partir de la mesure de la puissance du signal reçu du mobile par la station de base. En effet, la puissance du signal reçu par la station de base dépend de la distance  $d$  entre l'émission et la réception du signal ce qui s'exprime avec l'équation (3.1) comme [1] :

$$p_r(d)[dBm] = p_t[dBm] - \overline{p_e}(d_0)[dB] - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - X_\sigma[dB] + G_t[dB] + G_r[dB] \quad (3.1)$$

où  $P_r(d)$  est la puissance du signal direct reçu,  $P_t$  [dBm] est puissance du signal émis,  $\overline{p_e}(d_0)[dB]$  est la moyenne de l'atténuation à une distance de référence  $d_0$ ,  $n$  est le coefficient d'atténuation du milieu considéré ( $n=2$  en espace libre, mais dans un corridor  $n<2$ , car la puissance ne décroît pas rapidement selon la distance parce que la dispersion est plus faible),  $X_\sigma$  est une variable aléatoire gaussienne (en dB) de valeur moyenne nulle et d'écart-type  $\sigma$  et  $G_t$  et  $G_r$  sont les gains respectifs des antennes de l'émetteur et du récepteur par rapport à une antenne isotrope.

D'après l'équation 3.1, on peut calculer la distance  $d$  si on connaît tous les paramètres de cette équation. Pour déterminer la position des personnes dans un espace à deux dimensions, on utilise une triangulation de 3 stations de bases avec des antennes omnidirectionnelle tel qu'indiqué à la figure 3.1. L'intersection de ces 3 stations de bases donne la zone possible de la position de personne.





**Figure 3.1:** Principe de la technique RSS

Dans cette technique, la puissance du signal reçu est disponible au niveau des récepteurs et de l'émetteur. Elle est applicable dans le cas des réseaux cellulaires et WLAN. La validité du modèle de propagation correspondant à l'environnement de travail joue un rôle très important dans la précision de la localisation. La superposition des trajets multiples produit des évanouissements pour lesquels il est très difficile de donner un modèle général.

En pratique, l'utilisation de cette technique nécessite une détermination régulière des paramètres d'atténuation du milieu pour tenir compte du changement dynamique de l'environnement. En fonction de la configuration de l'environnement, les multi-trajets conduisent à des variations du niveau du signal qui peuvent atteindre 15-25 dB sur une distance de l'ordre d'une fraction de longueur d'onde. Ces variations aléatoires engendrent des erreurs très importantes sur l'estimation de la distance.

Pour toutes ces raisons, la technique de radiolocalisation basée sur la puissance du signal reçu n'est pas adaptée à notre problème. Une possibilité d'améliorer les résultats consiste à moyenner les mesures dans le temps ou en fréquence [12].

### 3.2.2 Angle d'arrivée du signal (AOA- Angle Of Arrival)

La technique basée sur l'angle d'arrivée des signaux reçus utilise des antennes directionnelles ou encore un réseau d'antennes aux stations de bases pour mesurer la direction d'arrivée du signal provenant du trajet direct émis par le mobile. Dans cette technique, on utilise une simple triangulation de 2 stations de base pour localiser les personnes ou les cibles comme représenté à la figure 3.2 ci-dessous.

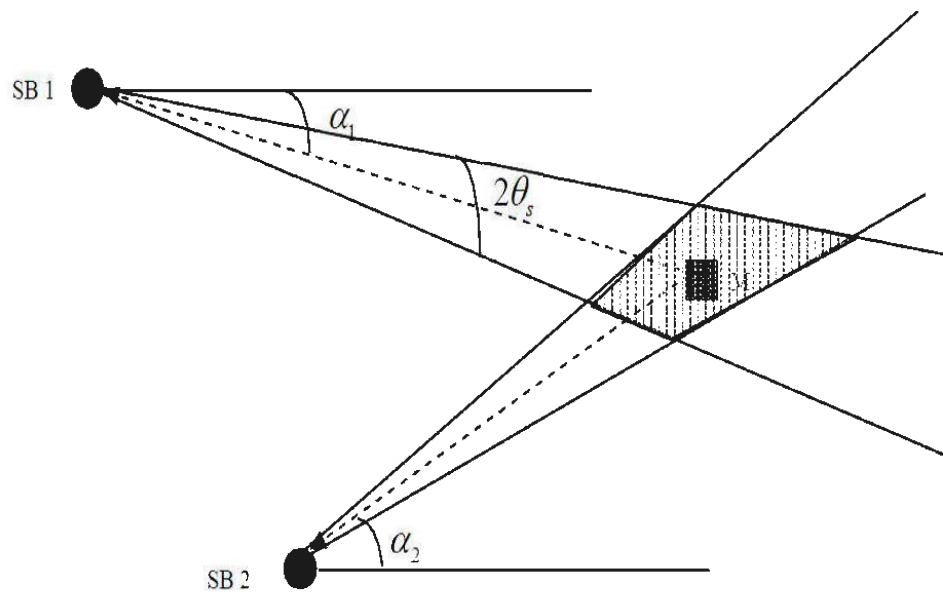


Figure 3.2: Technique de localisation basée sur l'angle d'arrivée du signal reçu [1]

Le radar utilise cette technique qui consiste à calculer l'angle de réception d'un signal par 2 ou 3 radars pour donner par la suite la position de l'objet dans l'espace.

Les lignes en pointillé sont les directions réelles du trajet direct et elles forment des angles  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  par rapport à un axe prédéfini aux stations de base SB1 et SB2 respectivement. L'intersection de ces deux lignes donne la position exacte du mobile. Chacune des antennes des deux stations de base a une marge d'erreur  $\pm\theta_s$ , alors chaque station de base localise le

mobile plutôt dans un faisceau équivalent à la direction mesurée  $\pm\theta_s$ . L'intersection des deux faisceaux donne la zone possible pour la position de cible. Dans le cas où la cible se trouve sur la ligne qui réunit les deux stations de bases, l'estimation de la position n'est plus possible il devient donc difficile voire impossible de détecter la position du mobile. Pour cette raison, il faut utiliser plus de deux stations de bases pour augmenter la précision.

L'inconvénient de cette technique est lié à la nécessité de disposer de réseaux d'antennes qui augmentent la taille des équipements utilisés et qui impliquent des coûts supplémentaires. On remarque aussi que la précision de cette technique se dégrade lorsque le mobile s'éloigne des stations de base, car plus le mobile s'éloigne, plus la zone d'intersection augmente, donc plus l'erreur de localisation du mobile M augmente.

La technique de radiolocalisation basée sur l'angle d'arrivée du signal, comme celle qui est basée sur la puissance du signal, donne des erreurs de localisation importantes dans les zones de forêts où il y a beaucoup d'arbres.

### 3.2.3 Temps d'arrivée du signal (TOA- Time Of Arrival)

La technique du temps d'arrivée du signal est basée sur la mesure de la différence de temps  $t$  entre le signal émis par la station de base et le signal reçu par la cible pour calculer la distance entre eux, comme indique l'équation (3.2) ci-dessous :

$$d = c * t \quad (3.2)$$

La distance  $d$  séparant un émetteur d'un récepteur est facilement calculée en connaissant le temps  $t$  pris par le signal direct pour passer de l'émetteur au récepteur et  $c = 3 * 10^8$  m/s (vitesse de la lumière) est la vitesse de l'onde électromagnétique dans l'espace libre.

Cette technique est basée encore sur une triangulation de trois stations de bases au minimum pour localiser la cible sans ambiguïté. Leurs intersections donnent une zone de position du mobile et cette technique est illustrée à la figure 3.3.

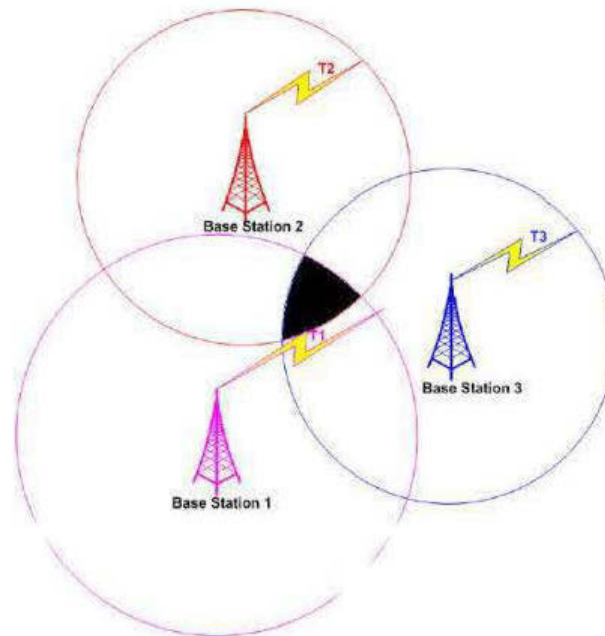


Figure 3.3: Temps d'arrivée du signal (TOA)

La synchronisation entre la station de base et le récepteur est nécessaire dans cette technique pour connaître la différence de temps exacte entre le signal émis par la station de base et le signal reçu par le mobile. Un défaut de synchronisation conduit à des erreurs dans l'estimation du temps pris par le signal direct pour arriver aux stations de base, ce qui donne des erreurs de localisation importantes. Par exemple, une précision de 3 cm exige une synchronisation de l'ordre de 10 ns.

Pour régler le problème de la synchronisation dans cette technique, on met des stations de bases full-duplex. Chaque station de base émet un signal et reçoit la réflexion de ce dernier sur le mobile, comme l'indique la figure 3.4. Le temps aller-retour  $T_{AR}$  du signal est calculé dans l'équation (3.3) ci-dessous :

$$T_{AR} = T_1 - T_0 - T_{replay} \quad (3.3)$$

où  $T_1$  est le temps de réception du signal par la station de base,  $T_0$  est le temps de transmission du signal de la station de base et  $T_{replay}$  est le temps de traitement du signal dans le récepteur de la cible.

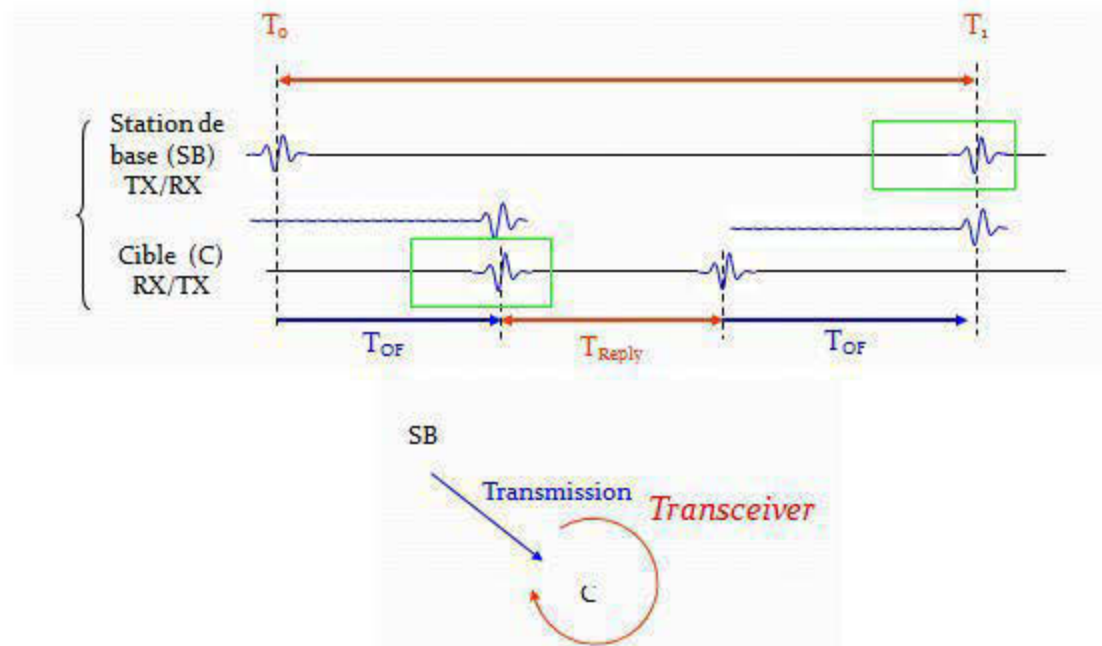


Figure 3.4: TOA

La distance séparant le mobile et la station de base est donnée par l'équation (3.4) ci-dessous :

$$d = \frac{1}{2} T_{AR} \times c \quad (3.4)$$

Cette approche élimine la nécessité d'une synchronisation entre la station de base et le mobile et elle est la plus couramment utilisée dans les environnements externes.

### 3.2.4 Différence de temps d'arrivée du signal (TDOA – Time Difference Of Arrival)

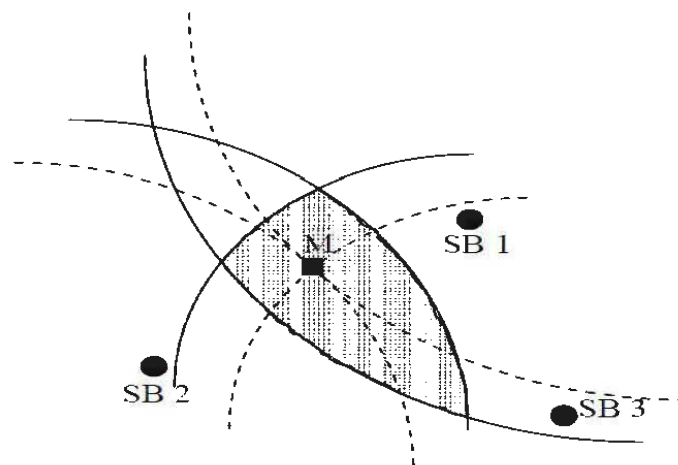
La technique TDOA est basée sur la mesure de la différence du temps d'arrivée du signal entre deux stations de bases pour calculer la distance entre la station de base et le mobile. Cette technique règle le problème de TOA qui est la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur, mais il doit y avoir une synchronisation entre des paires de stations de bases pour calculer le temps exact d'arrivée du signal.

Le principe de cette technique est donc de calculer la distance séparant le mobile de la station de base à partir de la mesure de la différence du temps d'arrivée du signal émis par la cible à chaque paire de stations de base. Cette technique utilise encore une simple triangulation avec au moins trois stations de base pour déterminer la position de la cible. L'ensemble des positions possibles de la cible pour avoir une même différence de temps d'arrivée à une paire de stations de base donnée est une hyperbole dont l'équation est donnée par l'expression (3.5) suivante :

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (3.5)$$

où  $(x, y)$  sont les coordonnées de la cible  $a$  et  $b$  sont les distances entre le mobile et les deux stations de base.

Cette technique est aussi connue sous le nom de technique hyperbolique de localisation. Le mobile est toujours dans la surface d'intersection des hyperboles de ces 3 stations de base. Cette technique est utilisée par différents systèmes de localisation, mais elle demande une synchronisation entre chaque deux paires des stations de bases. Cette technique est illustrée à la figure 3.5.



**Figure 3.5:** Différence de temps d'arrivée du signal (TDOA) [1]

Cette technique de radiolocalisation souffre du même problème pour les erreurs de localisation que les autres techniques à cause de la synchronisation entre les paires de stations de base. Une très faible désynchronisation peut entraîner une erreur de positionnement de quelques centaines de mètres.

En résumé, les techniques basées sur la modélisation mathématique du canal de propagation sont les plus utilisables dans les environnements extérieurs où le trajet direct est presque toujours présent. Mais le problème, lorsqu'on localise sur les grandes distances (quelques kilomètres), la surface où se trouve le mobile devient plus grande, ce qui conduit à des erreurs de localisation élevées.

### 3.3 TECHNIQUES BASÉES SUR L'APPROCHE RADAR

Le terme radar signifie Radio Detection And Ranging, et il a été développé initialement pour des applications militaires, notamment durant la deuxième Guerre mondiale en 1945. Le système radar est basé sur un concept très simple. Il est composé d'un émetteur, d'un récepteur, d'une antenne et d'un circulateur qui a le rôle de séparer le signal émis du signal réfléchi par la cible.

Deux types de radars sont utilisés, les radars mono-statiques et les radars bi-statiques, ce dernier étant toutefois réservé à des applications spécifiques à cause des coûts beaucoup plus élevés. Les radars mono-statiques utilisent une seule antenne pour l'émission et la réception du signal et un circulateur (duplexeur) sépare la voie de transmission du signal de la voie de réception (figure 3.6-a). Les radars bi-statiques utilisent deux antennes, une pour l'émission du signal et l'autre pour la réception, pour bien séparer les deux signaux (figure 3.6-b).

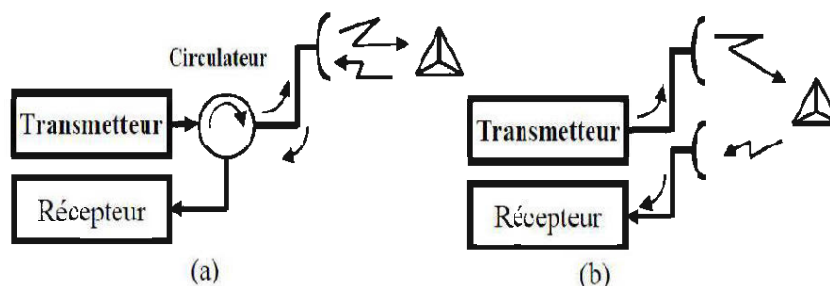


Figure 3.6: Schéma général du radar (a) mono-statique (b) bi-statique [14]

Le principe de radar est basé sur l'émission d'une onde électromagnétique et la réception de l'écho réfléchi par une cible pour détecter et déterminer la distance à laquelle elle se situe par rapport à l'émetteur. Ceci se fait par la mesure du temps de parcours aller-retour du signal et la vitesse du mouvement relatif de la cible par la mesure de décalage de fréquence du signal écho dû à l'effet Doppler (figure 3.7). Ainsi, il utilise des antennes directionnelles pour déterminer la direction de la cible avec suffisamment de précision.

Un radar intelligent peut tracer la trajectoire de la cible mobile et prévoir son trajet. Ce type de radar est également capable de distinguer les cibles mobiles et stationnaires [14].

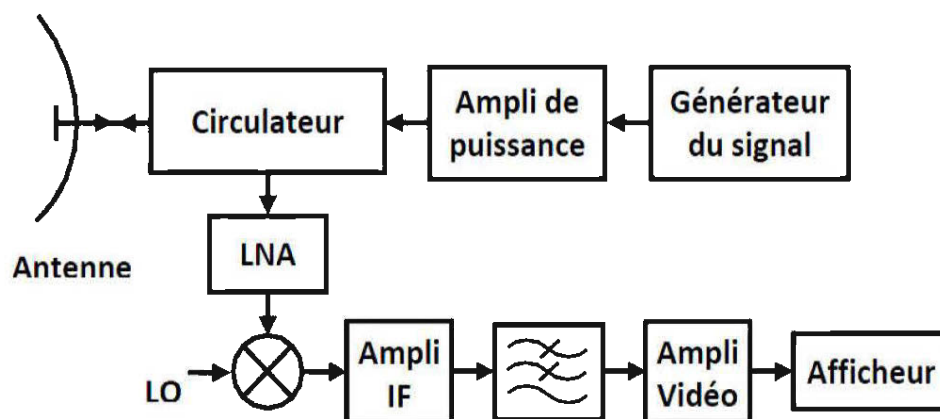


Figure 3.7: Schéma général d'un radar [14]



Le radar de base consiste en un transmetteur, un récepteur et une antenne avec un circulateur (le circulateur permet de partager la même antenne de façon temporelle entre l'émetteur et le récepteur) ou deux antennes. La chaîne d'émission est formée d'un générateur du signal qui produit un signal répétitif qui est transmis à partir d'une antenne directionnelle vers la cible après avoir traversé un amplificateur de puissance, comme illustre à la figure 3.7. La cible intercepte le signal du radar et renvoie une partie de l'énergie reçue proportionnellement à sa surface efficace radar. La chaîne de réception est formée d'une antenne de réception qui reçoit l'écho du signal réfléchi et l'amplifie avec un amplificateur faible bruit avant d'être mélangé avec le signal d'un oscillateur local dans un mélangeur dont le rôle est de réaliser une translation fréquentielle vers le bas. Le signal à la sortie du mélangeur est amplifié avant de passer dans un filtre adapté dont le but est de maximiser le rapport du signal/bruit de sortie. Enfin, il y a un afficheur et un écran qui donne les informations du signal reçu, comme la vitesse et/ou la distance de la cible.

### 3.3.1 Différents types de radar

Les radars sont généralement classifiés en deux grandes catégories, à savoir les radars à impulsions et les radars à onde continue CW (Continuous Wave).

#### 3.3.1.1 Radar à impulsions

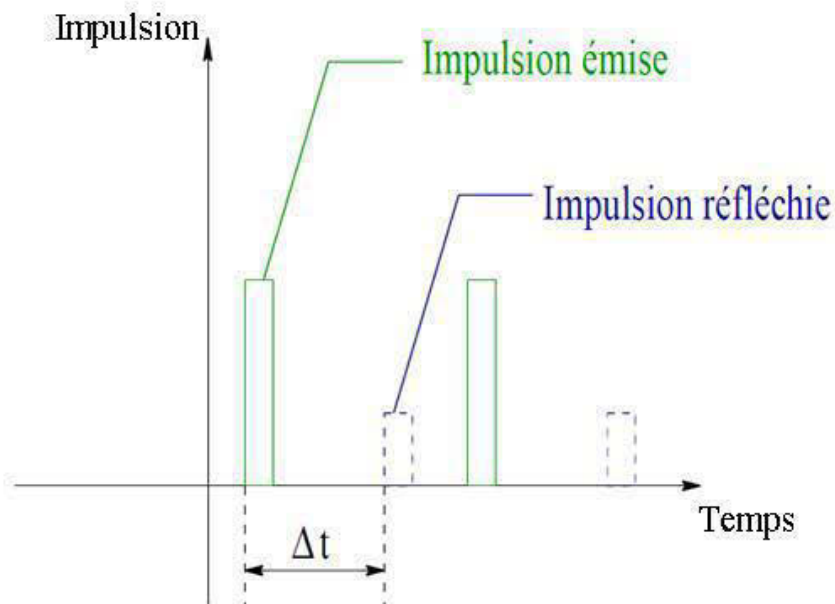
Le radar à impulsions est un radar cohérent qui utilise une source de fréquence stable pour générer le signal de référence.

Le principe du radar à impulsions consiste à envoyer un signal formé de suites d'impulsions électromagnétiques, chaque impulsion étant de très courte durée  $\tau$ , typiquement entre quelques microsecondes et quelques nanosecondes. Ces radars opèrent en ondes millimétriques qui se propagent dans l'atmosphère à la vitesse de la lumière ( $c=3*10^8$  m/s). Lorsque le signal émis est reçu par la cible, une partie de ce signal est réfléchi sous la forme d'une onde de faible amplitude et de caractéristiques temporelles identiques à celle du signal émis.

La distance  $d$  séparant le radar et la cible se déduit à partir du retard  $\Delta\tau$  entre l'émission et la réception de l'onde électromagnétique, tel que montré à la figure 3.8. Chaque

impulsion revenant au radar a parcouru deux fois la distance radar- cible, tel que formulé par l'équation 3.6 ci-dessous :

$$d = \frac{c \times \Delta t}{2} \quad \text{où } c=3*10^8\text{m/s} \quad (3.6)$$



**Figure 3.8 :** Principe de mesure de la distance antennes cibles avec un radar à impulsions [5]

La durée des impulsions  $\tau$  et la fréquence de répétition  $f_r$  ( $\tau = 1/f_r =$  période de répétition des impulsions) sont les paramètres les plus importants pour déterminer une grande distance mesurable et une bonne résolution du radar à impulsions. Pour éliminer le chevauchement entre le signal émis et le signal reçu, il faut que l'écho soit reçu par le radar avant l'émission de l'impulsion suivante. Il faut alors que le temps aller-retour du signal soit inférieur à  $1/f_r$ , donc le temps aller-retour maximal du signal est  $1/f_r$ , ce qui nous donne une distance maximale  $D_{\max}$  dans l'équation 3.7 suivante :

$$D_{\max} = \frac{c}{2 f_r} \quad (3.7)$$

Le radar à impulsions donne la distance entre la cible et le radar, mais il ne fournit pas aucune information sur la vitesse à laquelle la cible bouge. Pour calculer la vitesse de la cible, il faudrait extraire la fréquence du signal reçu, qui inclut la déviation Doppler. Ce type de détection est appelé détection cohérente et complique de beaucoup les circuits utilisés pour aller chercher cette information.

Le radar à impulsions est mono-statique. L'envoi et la réception du signal se font par l'utilisation d'une seule antenne (émission/ réception). Ce type de radar est très utilisé dans diverses applications, mais il est connu qu'il est plus performant pour les grandes distances que les courtes distances.

Mais pour localiser des objets, la distance à mesurer est insuffisante. Une solution proposée consiste à utiliser des mesures angulaires en utilisant comme moyen la directivité des antennes. Ces mesures angulaires combinées avec les mesures de la distance et de la vitesse permettent ainsi la détection des cibles et de les localiser. Le principe de la mesure angulaire requiert que l'antenne repartisse l'énergie rayonnée d'une façon sélective ou directionnelle dans l'espace et non d'une façon uniforme (omnidirectionnelle)

### 3.3.1.2 Radar à ondes continues

Les radars à ondes continues sont des radars qui émettent des ondes électromagnétiques en permanence. Ils sont généralement utilisés pour la réalisation des systèmes embarqués anticollision et de contrôles intelligents.

Il y a deux types de radar à ondes continues, le plus simple étant le radar à ondes continues (CW) monochromatique (utilisant l'effet Doppler) et l'autre type c'est le radar à ondes continues modulées en fréquence (FMCW).

Les radars à ondes continues (CW) non modulées, contrairement aux radars impulsions, sont capables de déterminer la vitesse de la cible détectée en basent sur l'effet Doppler, mais ils ne nous donnent aucune information sur la distance relative entre la cible et l'antenne d'émission du radar.

Les radars à ondes continues modulées en fréquences (FMCW- Frequency Modulated Continuous Wave), sont des radars qui peuvent déterminer la vitesse relative de la cible en basant sur l'effet Doppler et encore mesurer la distance de la cible par la modulation de fréquence. On a plusieurs types de modulation pour le FMCW comme la modulation en dents de scie ou la modulation de fréquence sinusoïdale.

#### i. Radar à onde continue (CW)

Le radar à onde continue CW est formé oscillateur qui émet un signal RF, d'un circulateur (duplexeur) pour séparer le signal émis de signal reçu, et un récepteur qui mélange les deux signaux comme indiqué à la figure 3.9. La différence de fréquence entre le signal émis et le signal reçu donne la fréquence de battement :  $f_b = f_r - f_e$  (avec  $f_r$  est la fréquence du signal reçu et  $f_e$  est la fréquence du signal émis). Elle est proportionnelle à la vitesse de la cible, soit

$$f_b = 2 f_0 \frac{v_r}{c} \quad (3.8)$$

où  $f_0$  est la fréquence de l'oscillateur local,  $v_r$  est la vitesse relative de la cible et  $c$  la vitesse de la lumière.

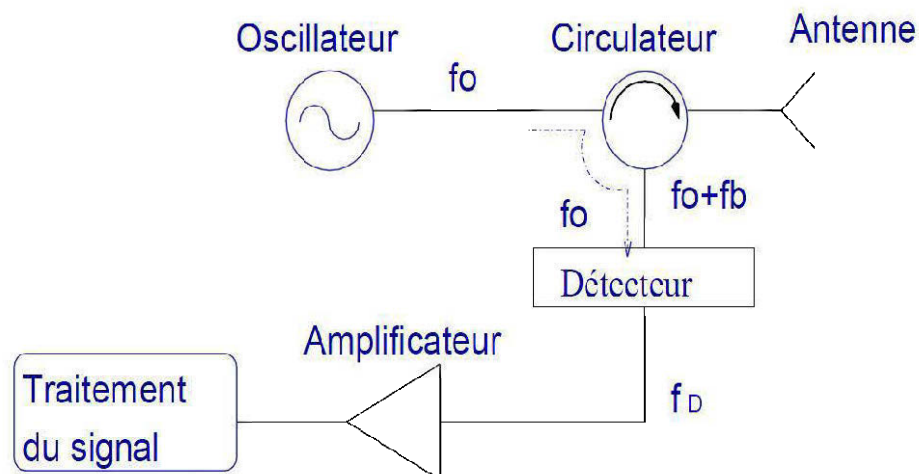


Figure 3.9: Schéma du radar à onde continue CW [5]

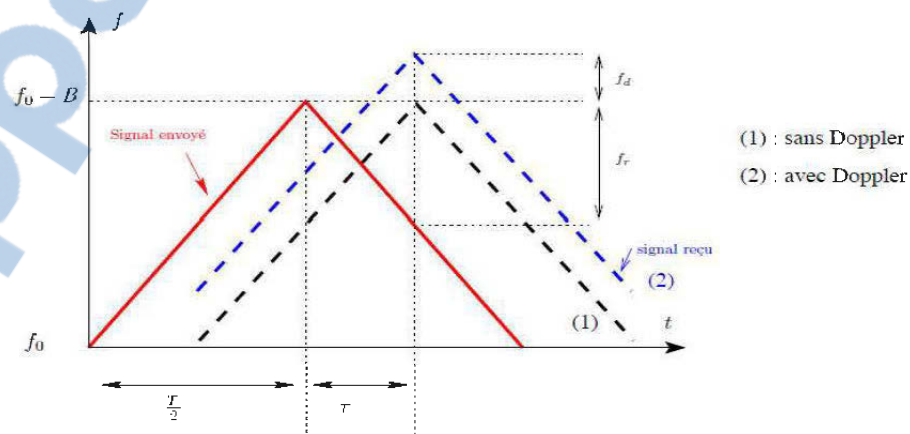
Tel que mentionné précédemment, le radar à onde continue calcule seulement la vitesse de la cible par rapport au radar, mais ne donne aucune information de la distance qui sépare les deux. Donc, il ne permet de visualiser que les cibles mobiles.

## ii. Radar à ondes continues modulées en fréquence (FMCW)

Le radar CW est capable de visualiser uniquement les cibles mobiles et l'inconvénient de ce radar c'est leur incapacité à mesurer les distances entre les cibles et les radars. Pour cela, un radar à ondes continues modulées en fréquence pour détecter les cibles fixes et mobiles a été proposé et réalisé depuis plusieurs années. Dans cette méthode, la variation du signal émis du radar autour d'une fréquence fixe de référence est utilisée pour détecter les cibles fixes et pour calculer la distance de la cible par rapport au radar.

Le radar FMCW permet donc de fournir la vitesse relative de la cible, par effet Doppler, et il permet de calculer la distance entre le radar et la cible avec la modulation de fréquence. La figure 3.10 ci-dessous représente deux courbes, la première sans effet Doppler, lorsque la cible est fixe donc la vitesse est nulle dans ce cas, et la deuxième avec effet Doppler, lorsque la cible est mobile.

Le calcul de la distance  $d$  sera proportionnel au temps de décalage  $\tau = 2d/c$  ( $d$ = distance de la cible,  $c=3*10^8$  m/s) entre le signal émis et le signal réfléchi, ce dernier est mélangé avec le signal transmis, produisant ainsi une fréquence de battement  $f_b$ .



**Figure 3.10:** Modulation FMCW: les fréquences instantanées à l'émission et la réception

En l'absence d'effet Doppler, cette fréquence  $f_b$  est uniquement liée à la distance de la cible.  $f_b$  est égale à la différence de fréquence entre le signal émis et le signal reçu sera donné par l'équation 3.9 suivante :

$$f_b = f_r(t) - f_e(t) \quad (3.9)$$

avec  $f_e(t) = f_0 + \alpha t$  = fréquence du signal émis,  $f_r(t) = f_0 + \alpha(t - \tau)$  = fréquence du signal reçu, et  $\tau$  est le décalage de temps entre les deux signaux.

Donc,  $f_b$  sera donné par l'équation 3.10 suivante :

$$f_b = -\alpha \tau = -\alpha \frac{2d}{c} \quad (3.10)$$

Comme on a vu, lorsque la cible est immobile, la distance entre la cible et l'antenne est proportionnelle à la fréquence de battement.

En présence de l'effet Doppler, la fréquence du signal reçu sur le front montant est donnée par l'équation 3.11 suivante :

$$f_r^{up} = f_0 + f_d + \alpha \left( t - \frac{2d}{c} \right) \quad (3.11)$$

La fréquence du signal reçu sur le front descendant est donnée par l'équation 3.12 suivante :

$$f_r^{d0} = f_0 + f_d - \alpha \left( t - \frac{2d}{c} \right) \quad (3.12)$$

La fréquence de battement pour le front montant est donc donnée par l'équation 3.13 suivante :

$$f_d^{up} = f_r^{up} - f_e = f_d - \alpha \frac{2d}{c} \quad (3.13)$$

et celle pour le front descendant est donnée par l'équation 3.14 suivante :

$$f_b^{d0} = f_r^{d0} - f_e = f_d + \alpha \frac{2d}{c} \quad (3.14)$$

Donc la distance et la vitesse de la cible dans un radar FMCW sont liées linéairement aux fréquences de battements du front montant et descendant comme indique les 2 équations ci-dessous.

$$d = \frac{c}{4\alpha} (f_b^{d0} - f_b^{up}) \quad (3.15)$$

$$v = \frac{\lambda}{4} (f_b^{d0} + f_b^{up}) \quad (3.16)$$

Une autre méthode pour calculer la distance à partir de la fréquence de battement avec le radar FMCW est donnée ci-dessous.

Si le signal émis par le radar est de la forme suivante :

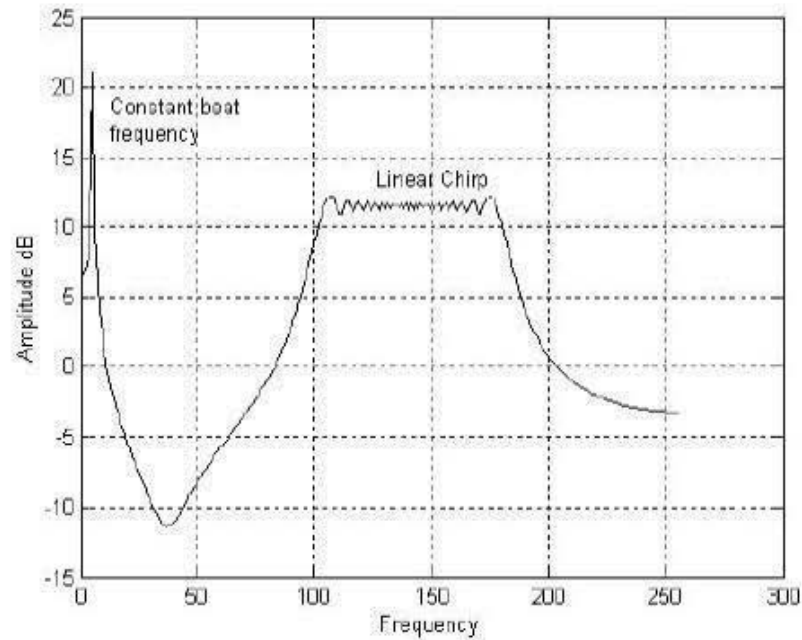
$$V_{fm}(t) = A_c \cos\left[w_c t + \frac{A_b}{2} t^2\right] \quad (3.17)$$

Une partie du signal transmis est mélangée avec l'écho reçu. La fréquence du signal d'émission sera alors décalée de celle du signal reçu en raison du temps aller-retour  $T_p$ .

$$V_{jm}(t - T_p) = A_c \cos\left[w_c (t - T_p) + \frac{A_b}{2} (t - T_p)^2\right] \quad (3.18)$$

Le produit de deux signaux donne le signal à la sortie qui est représentée à la figure 3.11 :

$$V_{sorn}(t) = \frac{A_c^2}{2} \left[ \cos\left\{ \left( 2w_c - A_b T_p \right) t + A_b t^2 + \left( \frac{A_b}{2} T_p^2 - w_c T_p \right) \right\} + \cos\left\{ A_b T_p t + \left( w_c T_p - \frac{A_b}{2} T_p^2 \right) \right\} \right] \quad (3.19)$$



**Figure 3.11:** Schéma du signal sorti de radar FMCW [17]

Le premier terme en cosinus décrit un signal FM linéairement croissant (linear chirp). Ce terme est généralement filtré de façon active, ou plus généralement il se situe au-delà de la fréquence de coupure du mélangeur et composants du récepteur suivant dans la chaîne. Le deuxième terme en cosinus décrit un signal de battement à une fréquence fixe qui peut être obtenu en différenciant le terme de phase instantanée par rapport au temps.

$$f_b = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \left[ A_b T_p t + (w_r T_p + \frac{A_b}{2} T_p^2) \right] = \frac{A_b}{2\pi} T_p \quad (3.20)$$

On notera que la fréquence de battement est directement proportionnelle au temps de trajet aller-retour vers la cible  $T_p$ .

Le schéma du radar FM-CW illustré à la figure 3.12, est le même que celui du radar CW, sauf en ce qui concerne la modulation et le traitement en bande de bases du signal  $f_b$ .



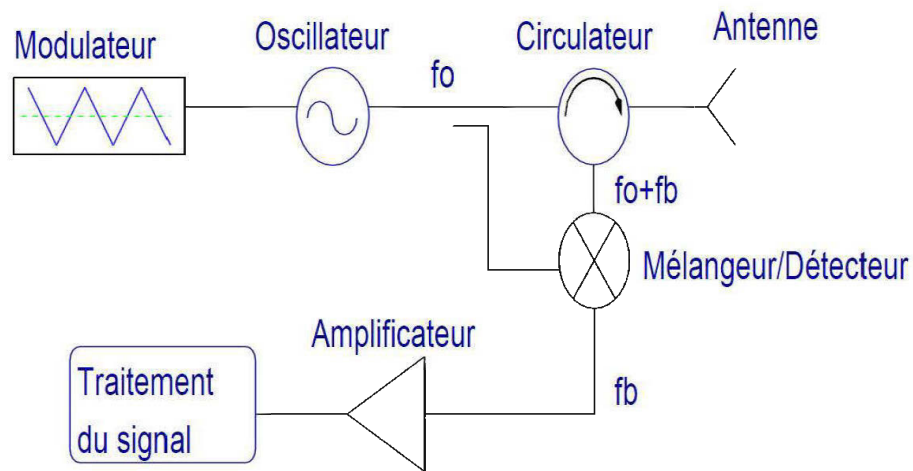


Figure 3.12: Schéma du radar FMCW [5]

### 3.4 CONCLUSION

Dans cette section, on a vu les différents types de radar et les caractéristiques de chacun de ceux-ci. Le tableau 3.1 ci-dessous représente une comparaison sommaire entre ces types de radars.

Caractéristiques	Radars CW	Radars pulsés
Complexité du circuit	Plus simple	Plus complexe
Détection des courtes distances	Supérieur	Meilleur pour les distances plus grandes
Détection d'une cible en mouvement	Facile à réaliser.	Pas facile à implémenter. Demande un traitement de signal compliqué. Les fréquences Doppler

		qui sont des multiples de la fréquence de répétition de l'impulsion sont difficiles à détecter et à mesurer.
Précision de mesure	Modéré	Supérieure, due à la largeur étroite de l'impulsion et autres techniques.
L'isolation entre le transmetteur et le récepteur	Modéré (20-25 dB) pour la configuration mono-statique.  Élevé ( $\geq 50$ dB) pour la configuration bistatique.	Élevé.

**Tableau 3.1:** Comparaison entre les radars CW/FMCW et les radars impulsifs

## CHAPITRE 4

### APPROCHES PROPOSÉES

#### 4.1 INTRODUCTION

Le but du projet est la localisation des utilisateurs, l'échange bidirectionnel entre les personnes et les stations de bases et l'identification de chaque personne avec une technique radio définie par logiciel.

Au chapitre 3 précédent, on a vu les différentes techniques de localisation, celles qui sont basées sur la modélisation mathématique du canal de propagation et celles qui sont basées sur l'approche radar.

Notre idée est donc de fabriquer un réflecteur actif qui reçoit un signal radar FMCW de la station de base et qu'il va le renvoyer une autre fois vers la station de base. Nous devons donc faire l'adaptation de la technique du radar FMCW sur un SDR. Pour l'adaptation de cette technique, on a deux méthodes, la méthode fréquentielle et la méthode temporelle.

#### 4.2 MÉTHODE FRÉQUENTIELLE

Pour l'adaptation de la technique radar FMCW sur la station de base SDR, il faut que l'USRP de la station de base émette un signal, le même que celui qui a émis par le radar. Tel que présenté avant l'équation radar FMCW (équation. 3.17), la fréquence d'émission et celle de réception du signal sont identiques. La méthode fréquentielle consiste à émettre le même signal radar à une fréquence  $f_1$ , qui reçoit sur une fréquence  $f_2 = \alpha \cdot f_1$  où  $\alpha$  est un nombre réel positif ( $\alpha \neq$  entier), pour éliminer le chevauchement entre le signal émis et le signal reçu. Alors que l'équation du signal émis devient de la forme suivante :

$$V_{f1m}(t) = A_c \cos \left[ w_c t + \frac{A_b}{2} t^2 \right] \quad (4.1)$$

La forme du signal reçu par l'USRP devient :

$$V_{f2m}(t) = A_c \cos \left[ w_{c2}(t - T_p)^2 + \frac{A_b}{2}(t - T_p)^2 \right] \quad \text{avec } w_{c2} = \alpha w_c \quad (4.2)$$

Le produit de deux signaux donne le signal à la sortie :

$$V_{sorti}(t) = \frac{A_c^2}{2} \left[ \cos \left\{ \left( w_c - \alpha w_c + A_b T_p \right) t - A_b t^2 + \left( \frac{A_b}{2} T_p^2 - \alpha w_c T_p \right) \right\} + \cos \left\{ \left( w_c - \alpha w_c + A_b T_p \right) t + \left( \alpha w_c T_p - \frac{A_b}{2} T_p^2 \right) \right\} \right] \quad (4.3)$$

Le premier terme en cosinus est généralement filtré de façon active. Le deuxième terme en cosinus décrit un signal de battement à une fréquence. Donc, l'équation de la fréquence de battement est de la forme suivante :

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \left[ \left( (1 - \alpha) w_c + A_b T_p \right) t + \left( \alpha w_c T_p + \frac{A_b}{2} T_p^2 \right) \right] \\ &= \frac{1}{2\pi} \left( (1 - \alpha) w_c + A_b T_p \right) = \frac{1}{2\pi} \left( (1 - \alpha) w_c + 2A_b \frac{R}{c} \right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

La fréquence de battement  $f_b$  de l'équation (4.4) est fonction de deux inconnues  $\alpha$  et  $R$ , où  $R$  est la distance de la cible et  $\alpha$  est une valeur inconnue. La complexité de cette méthode est le choix de la fréquence du signal reçu par la station de base pour qu'il n'entre pas en chevauchement avec le signal émis. La méthode fréquentielle n'est donc pas la meilleure méthode pour l'adaptation du signal radar FMCW sur le SDR, à cause de la difficulté de choisir la fréquence du signal reçu.

### 4.3 MÉTHODE TEMPORELLE

La méthode temporelle est basée sur l'émission et la réception du signal à la même fréquence  $f$ . Dans cette méthode, la distance de la cible est calculée à partir de la mesure de la différence de temps entre l'émission et la réception du signal. Par exemple, si on émet le signal au temps  $T_1$ , la réception du signal se fera à  $T_2$  différent que  $T_1$ , et le temps aller-retour du signal  $T_{12}$  s'exprime comme:

$$T_{12} = (T_2 - T_1) - T_d \quad (4.5)$$

où  $T_d$  est le temps de traitement du signal dans la balise RF.

Alors la distance  $d$  qui sépare la balise RF et la station de base est donnée par :

$$d = \frac{1}{2} T_{12} \times c \quad (4.6)$$

où  $c$ , est la vitesse de la lumière.

On a implémenté cette solution sur la station de base SDR, avec l'utilisation d'un émetteur-récepteur comme balise RF pour recevoir le signal émis par la station de base comme indique la figure 4.1 illustrée ci-dessous.

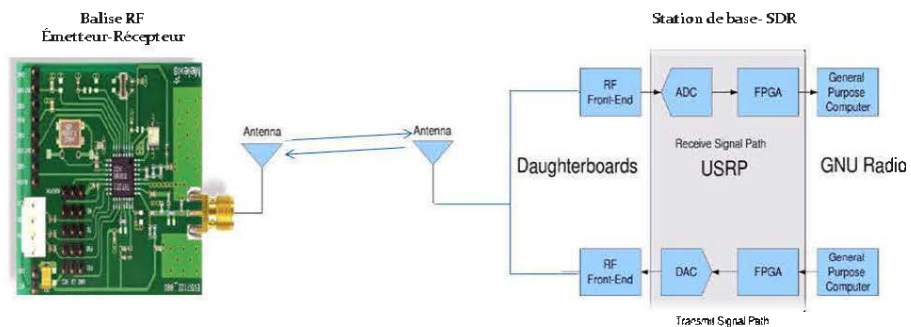


Figure 4.1: Méthode temporelle

On a émis un signal sinusoïdal avec l'USRP et on a reçu le même signal pour calculer le temps aller-retour à partir du déphasage entre le signal émis et le signal reçu. Toutefois, le problème qu'on a vu est que le déphasage entre eux varie en fonction de temps, comme indique la figure 4.2, et il est donc impossible de calculer le temps aller-retour du signal  $T_{12}$ .

De plus, il faut qu'il y ait une synchronisation entre la station de base et la personne qu'on va localiser. Si cela n'est pas réalisé, cela conduit à une erreur de localisation importante.

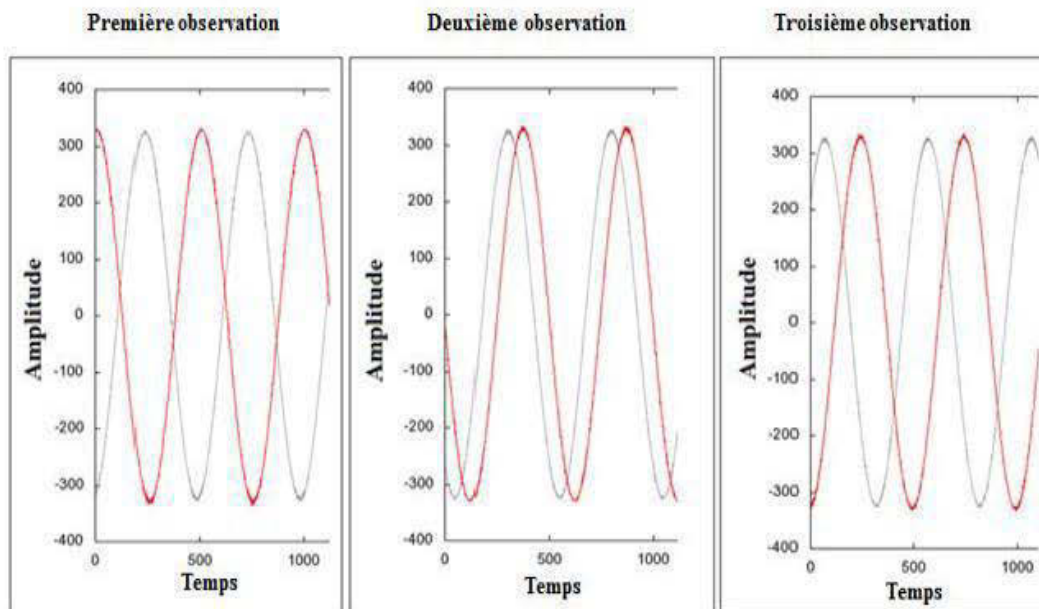


Figure 4.2: Déphasages temporels

On a deux inconvénients avec cette méthode. Le premier, c'est le déphasage entre les deux signaux varie en fonction de temps. Dans ce cas on ne peut pas calculer la distance de la personne par rapport à la station de base. Le deuxième inconvénient, c'est que le temps de traitement du signal dans l'USRP + GNU radio n'est pas constant, car pour chaque émission du signal, le temps de traitement varie et pour une variation de temps de traitement du signal  $t$  de  $1 \mu\text{s}$ , il y a une erreur de localisation de 300 m au minimum ( $d = C \times t = (3 \times 10^8 \text{ m/s}) \times$

$(1 \times 10^{-6} \text{ m}) = 300 \text{ m}$ ). On conclut donc que l'erreur de localisation dans cette méthode est très grande.

Les deux méthodes présentées ici ne sont donc pas les meilleures méthodes pour l'adaptation du radar FMCW sur la station de base SDR. Pour la première, il y a la complexité de choisir la fréquence de réception théoriquement et, pour la deuxième, il y a la variation de déphasage entre les deux signaux, en plus la variation de temps de traitement du signal, qui donne des erreurs de localisation importantes.

On doit donc trouver une balise RF, qui peut communiquer avec le SDR et, sur cette balise, on met un GPS qui envoie les coordonnées  $(x,y,z)$ . Dans cette méthode, on peut utiliser une seule station de base pour la localisation des personnes et, en plus, avec un GPS on peut localiser sans synchronisation entre la station de base et la balise RF ce qui diminue les erreurs de localisation des personnes.

#### 4.4 MÉTHODE GPS

La troisième méthode pour la localisation dans notre projet c'est la méthode GPS, l'idée est de mettre un GPS qui reçoit les coordonnées et les envoyer vers la station de base, dans ce cas on peut connaître le lieu de la personne. L'avantage de cette méthode qu'on n'a pas besoin d'une triangulation pour la localisation, on utilise une seule station de base pour localiser. D'après notre recherche on a déterminé que l'APRS (Automatic Packet Reporting System) est la meilleure solution pour notre projet.

##### 4.4.1 APRS

L'APRS ou Automatic Packet Reporting System (système de suivi automatique par paquets). [28] est un protocole de communication par paquet de diffusion des données en direct à tout le monde sur un réseau en temps réel. Ce paquet contient généralement les coordonnées GPS et d'autres informations comme les rapports de la station météo, la goniométrie et la messagerie. Le paquet peut être reçu et décodé par une station qui peut entendre et qui dispose d'un logiciel approprié ou matériel. Digipeater (répéteur numérique)

peuvent aussi entendre le paquet et le retransmettre. Les paquets qui ont besoin de parcourir de longues distances peuvent également être acheminés à travers l'Internet public.

APRS est différent des technologies conventionnelles utilisant les paquets de plusieurs façons:

- Il fournit des cartes et d'autres affichages de données, pour la localisation des véhicules / des personnes et l'observation météorologique en temps réel.
- Il effectue toutes les communications en utilisant un protocole de un vers plusieurs, de sorte que tout le monde est mis à jour immédiatement.
- Il utilise un relayage générique, avec des indicatifs identiques pour permettre une standardisation, de sorte que la connaissance préalable de la topologie du réseau n'est pas nécessaire.
- Il utilise l'interface utilisateur des trames AX.25 et il prend en charge la messagerie bidirectionnelle et la distribution des bulletins et des annonces, ce qui conduit à la diffusion rapide des informations textuelles.
- Il prend en charge les communications avec les radios Kenwood TH-D7 et TM-D700, qui ont été conçues avec un TNC (Terminal Node Controller) intégré et une microprogrammation (firmware) APRS.

Les principes fondamentaux de l'APRS, comme décrits par Bob Bruninga [28] sont les suivants:

- Vous devriez entendre tout à proximité ou dans une Digipeater dans les 10 minutes.
- Vous devriez entendre tout au sein de votre cercle Aloha dans les 30 minutes.

APRS offre une connectivité universelle à toutes les stations, mais évite les retards de complexité en temps et les limites d'un réseau connecté. Il permet à n'importe quel nombre de stations d'échanger des données tout comme les utilisateurs de voix le feraient sur un filet de



voix. Toute station qui dispose d'informations pour contribuer envoie tout simplement et toutes les stations le reçoivent et l'enregistrent.

APRS reconnaît que l'un des plus grands besoins en temps réel lors de n'importe quel événement spécial ou d'urgence est le suivi des actifs-clés. Où est le leader du marathon? Où sont les véhicules d'urgence? Quelle est la météo à divers points dans le comté? Où est la tempête?

Pour répondre à ces questions, l'APRS permet de localiser l'emplacement d'un véhicule de façon entièrement automatique et un système présente le rapport d'état. Il peut être utilisé sur n'importe quel système radio bi-directionnelle, y compris la radio amateur, bande marine et le téléphone cellulaire. Il y a même un réseau international de localisation APRS en direct sur l'Internet comme indique la figure 4.3.

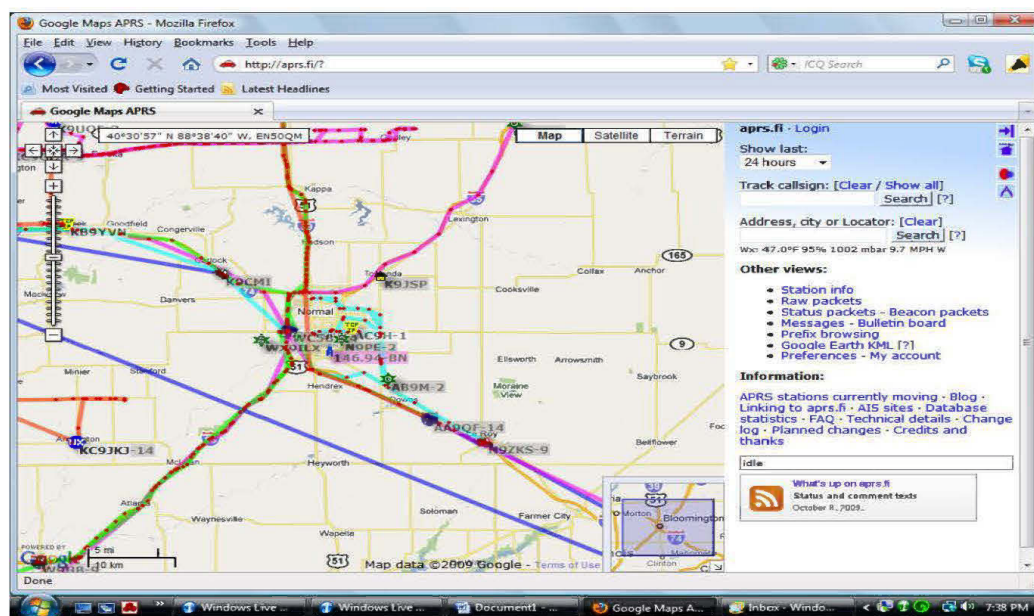


Figure 4.3: Réseau international de localisation APRS en direct sur Internet. [23]

#### a. Les matériels de l'APRS

APRS a été développé pour utiliser les matériels existants de radiocommunication par paquets, de sorte qu'il n'a besoin que de trois pièces de matériels :

- i. Un système de radio localisation global (GPS- Global Positioning System)
- ii. Un Contrôleur de Terminal Nodal (CTN, en anglais TNC- Terminal Node Controller).
- iii. Un émetteur / récepteur (transceiver) ou un radio.

## GPS

Pour la localisation en temps réel, on a besoin d'un GPS pour indiquer la position en latitude et longitude. Il existe de nombreux récepteurs GPS à choisir, dans de nombreuses formes et tailles. Certains sont plus pratiques que d'autres pour des applications spécifiques. Garmin et Magellan sont des marques connues de GPS de poche. Tout récepteur GPS utilisé pour APRS doit avoir une connexion de donnée et doit produire des données de format NMEA (National Marine Electronics Association); celles-ci sont utilisées pour faciliter la communication entre le GPS et tous les appareils de l'APRS comme le TNC et le radio, alors que le mode NMEA est nécessaire et disponible pour le GPS.

Les modes NMEA actuellement utilisés en APRS sont :

- NMEA 0183 1.5 (connexion 4800 bauds)
- MNEA 0183 2.0 (connexion 4800 bauds)
- NMEA 96 (connexion 9600 bauds)

La plupart des récepteurs GPS sont munis d'une sortie au format NMEA 0183. Les stations mobiles APRS équipées de ce type de récepteur GPS peuvent transmettre leur position en temps réel.

## TNC

Un TNC (Terminal Node Controller) est formé d'un modem, d'un microprocesseur et d'un logiciel. Il est nécessaire à la conversion des signaux entre le radio (émetteur/récepteur) et le GPS ou l'ordinateur (conversion entre signaux numériques et signaux audio). La figure 4.4 ci-dessous présente quelques modèles du TNC externe.



Figure 4.4: Quelques modèles de TNC externe [21] [26]

## Radio

Le radio utilisé par l'APRS est constitué de :

- Une Radio amateur VHF émetteur-récepteur fonctionnant sur 144.390 MHz. (USA).
- Un émetteur-récepteur APRS utilisant un système de détection de collision pour savoir quand envoyer des données.
- La gamme de la couverture dépend de la puissance de l'émetteur et du terrain.

Il y a quelques radios comme le Kenwood TM-D700 et le TH-D7 qui sont utilisées le TNC et les microprogrammes APRS, la figure 4.5 représente quelques radios avec l'APRS.



Figure 4.5: Schéma de radio avec l'APRS [26]

Chaque pays utilise une fréquence de l'APRS différente l'une de l'autre. Le tableau 4.1 ci-dessous représente la fréquence utilisée par un certain nombre de pays :

Pays	Fréquence
Chile, Indonesia, North America	144.390 MHz
New Zealand	144.575 MHz
Japan	144.660 MHz

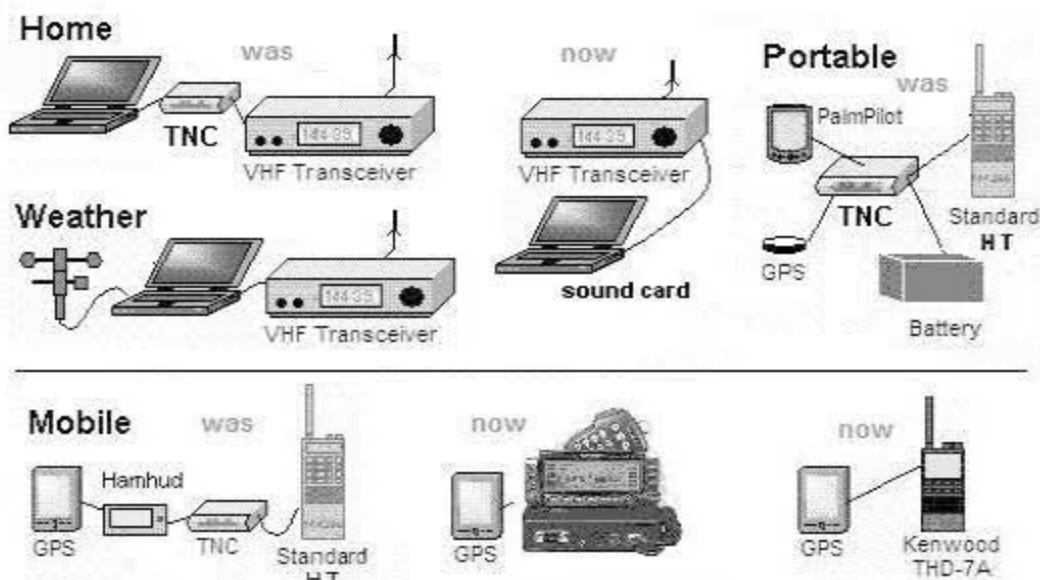
South Africa, Europe, Russia	144.800 MHz
Argentina, Uruguay	144.930 MHz
Australia	145.175 MHz
Brazil	145.570 MHz
Thailand	145.525 MHz

**Tableau 41:** Fréquence VHF de l'APRS. [27]

#### b. Configuration d'une station APRS

La station APRS mobile a besoin d'un GPS connecté à la radio à travers l'interface TNC. La figure 4.6 représente un exemple d'une station APRS mobile.

Ces unités fonctionnent bien avec les marathons, les défilés et autres événements communautaires, ainsi que les opérations de recherche et de sauvetage.



**Figure 4.6:** Station APRS mobile [21]

### c. Message APRS

La clef de l'APRS est le tracker. Un tracker est constitué d'un récepteur GPS, un TNC et une radio. Il peut envoyer un message qui contient les coordonnées géographiques comme la latitude, la longitude et l'altitude du récepteur GPS, le nom de la station ou de l'APRS qui l'envoie (l'identification). La figure 4.7 représente un exemple du message APRS qui est envoyé par le tracker.

À l'exception de la messagerie (dans lequel chaque station peut transmettre des messages courts les uns aux autres), les transmissions APRS sont destinées à la réception par toutes les autres stations participantes dans l'internet.

#### Affichage de la position

À la réception, toute station équipée d'une radio, TNC et un PC exécutant le logiciel APRS peut tracer la position du tracker - voir la figure 4.8.

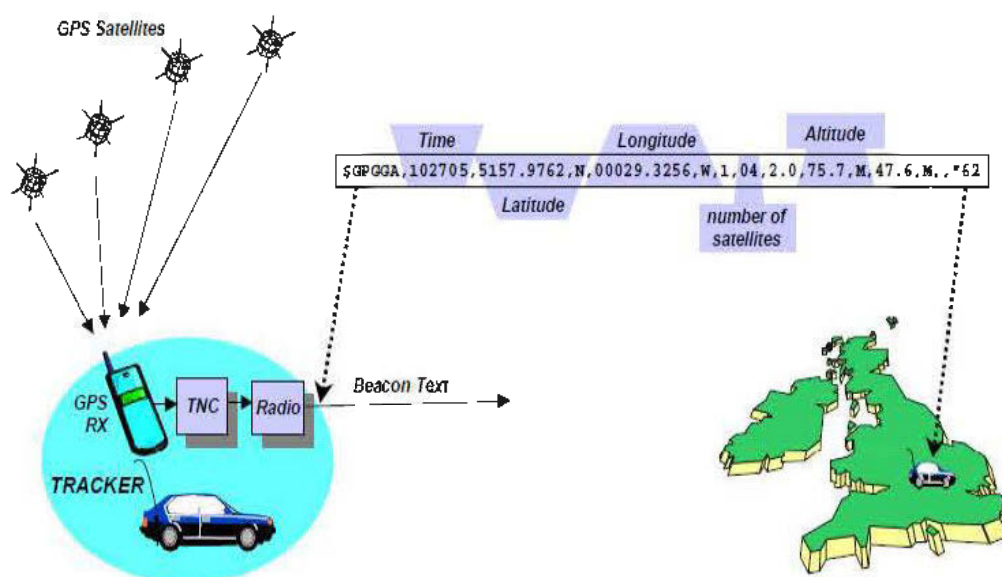
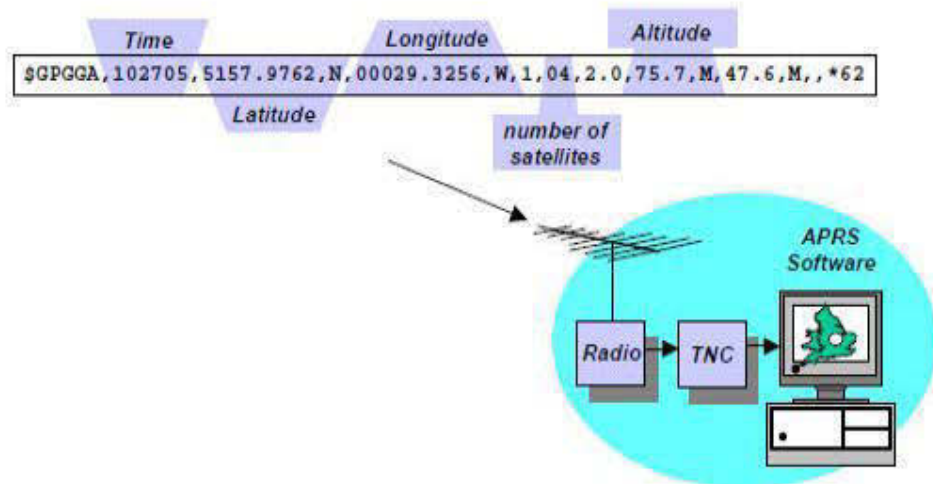


Figure 4.7: Calcul et transmission de la position à partir des signaux GPS reçus. [29]



**Figure 4.8:** Réception du signal par la station de base APRS (le logiciel APRS installé sur le PC affiche les positions sur la carte) [29]

D'après les figures 4.7 et 4.8, le tracker a envoyé un message à 10 h 27 min 5 s, il était situé à 51 degrés 57.9762 minutes nord, 0 degrés 29.3256 minutes à l'Ouest, à une altitude de 75,7 M ASL, et a utilisé 4 satellites GPS afin de déterminer cette position.

Chaque tracker peut envoyer dans la chaîne d'émission un nombre ou un chiffre qui indique leur symbole sur l'internet. On a deux tableaux pour les symboles et, si avant le symbole, il y a ``/`` C'est que le symbole est de la table primaire et s'il y a "\ " c'est que le symbole est de la table secondaire. Tous les symboles des deux tables sont indiqués dans le tableau 4.2 illustré ci-dessous.

Primary Table /		Secondary Table \					
!	Police Stn	P	Police	!	Emergency	P	Parking
-	No Symbol	Q	TBD	-	No Symbol	Q	Quake
#	Digi	R	RV Rec Veh'le	#	No. Digi	R	Restaurant
\$	Phone	S	Shuttle	\$	Bank	S	Sat/Pacsat
%	DX Cluster	T	SSTV	%	No Symbol	T	T'storm
&	HF Gateway	U	Bus	&	No. Diam'd	U	Sunny
'	Plane sm	V	ATV	'	Crash site	V	VORTAC
(	Mob Sat Stn	W	WX Service	(	Cloudy	W	No. WXS
)	WheelChair	X	Helo	)	MEO	X	Pharmacy
°	Snowmobile	Y	Yacht	°	Snow	Y	No Symbol
+	Red Cross	Z	WinAPRS	+	Church	Z	No Symbol
-	Boy Scout	[	Jogger	-	Girl Scout	[	Wall Cloud
.	Home	\	Triangle	.	Home (HF)	\	No Symbol
/	Red Dot	]	PBBS	/	UnknownPos	]	No Symbol
0	Circle (0)	^	Plane lrg	/	Destination	^	No. Plane
1	Circle (1)	-	WX Station	0	No. Circle	-	No. WX Stn
2	Circle (2)	a	Dish Ant.	1	No Symbol	-	Rain
3	Circle (3)	b	Ambulance	2	No Symbol	a	No. Diamond
4	Circle (4)	b	Bike	3	No Symbol	b	Dust blwng
5	Circle (5)	c	ICP	4	No Symbol	c	No. CivDef
6	Circle (6)	d	Fire Station	5	No Symbol	d	DX Spot
7	Circle (7)	e	Horse	6	No Symbol	e	Sleet
8	Circle (8)	f	Fire Truck	7	No Symbol	f	Funnel Cld
9	Circle (9)	g	Glider	8	No Symbol	g	Gale
::	Fire	h	Hospital	9	Petrol Stn	h	HAM store
::	Campground	i	IOTA	:	Hail	:	No. Blk Box
<	Motorcycle	j	Jeep	:	Park	j	WorkZone
>	Rail Eng.	k	Truck	<	Gale Fl	k	SUV
>	Car	l	Laptop	=	No Symbol	l	Area Locns
?	File svr	m	Mic-E Rptr	>	No. Car	m	Milepost
@	HC Future	n	Node	?	Info Kiosk	n	No. Triang
A	Aid Stn	o	EOC	@	Hurricane	o	Circle sm
B	BBS	p	Rover	A	No. Box	p	Part Cloud
C	Canoe	q	Grid squ.	B	Snow blwng	q	No Symbol
D	No Symbol	r	Antenna	C	Coast G'rd	r	Restrooms
E	Eyeball	s	Power Boat	D	Drizzle	s	No. Boat
F	Tractor	t	Truck Stop	E	Smoke	t	Tornado
G	Grid Squ.	u	Truck 18wh	F	Fr'ze Rain	u	No. Truck
H	Hotel	v	Van	G	Snow Shwr	v	No. Van
I	Top'ip	w	Water Stn	H	Haze	w	Flooding
J	No Symbol	x	XAPRS	I	Rain Shwr	x	No Symbol
K	School	y	Yagi	J	Lightning	y	Sky Warn
L	Usr Log-ON	z	Shelter	K	Kenwood	z	No. Shelter
M	MacAPRS	{	No Symbol	L	Lighthouse	{	FOG
N	NTS Stn		TNC Stream Sw	M	No Symbol		TNC Stream Sw
O	Balloon	}	No Symbol	N	Nav Buoy	}	No Symbol
		~	TNC Stream Sw	O	Rocket	~	TNC Stream Sw

Rev H - Sep 28, 2005 - Table generated by N6BG - Images courtesy of WA8LMF

Tableau 4.2: Liste des symboles de l'APRS [32]

La programmation de l'APRS est très facile. On peut le programmer par un TINY-TRAK qui est installé sur un ordinateur. La figure 4.9 donne un aperçu du programme.



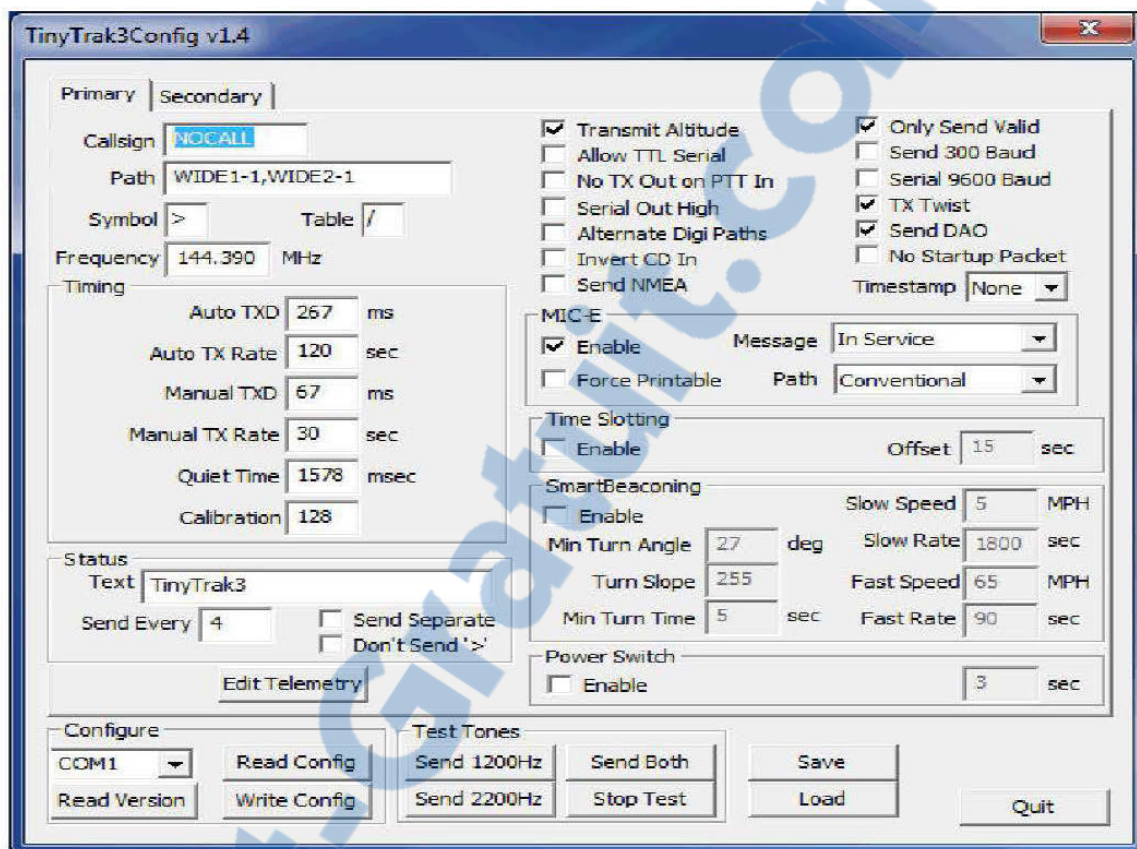


Figure 4.9: Schéma du programme TINY-TRAK [32]

Le ‘*callsign*’ indiquer le nom de l’APRS comme par exemple *NOCALL*. Avec le TINY-TRAK, on peut indiquer le symbole et la fréquence de l’APRS. On peut encore programmer l’APRS pour qu’il envoie automatiquement les coordonnées GPS et dans combien de temps il doit les envoyer à partir de ‘*Auto TX Rate*’.

#### 4.5 APRS-USRP :

L’utilisation la plus connue d’APRS est la transmission de la position géographique des stations ou d’autres éléments liés à l’activité des radioamateurs. C’est la seule solution pour une meilleure localisation et l’adaptation d’un système APRS sur une station de base radio définie pas logiciel (SDR), comme indique la figure 4.10.

Donc, l'idée est de choisir un circuit APRS qui est de source publique (open source), qu'on peut programmer et adapter sur notre station de base SDR. Ce circuit doit être formé d'un récepteur GPS qui capte les coordonnées et d'un émetteur-récepteur radio qui émet les coordonnées sur une fréquence de 144.39 MHz après les avoir codées avec un TNC. Il faut qu'il soit bidirectionnel pour qu'il y ait un échange bidirectionnel entre la station de base et la personne qu'on va le localiser.

La station de base est formée d'un USRP (Universal Software Radio Peripheral) et d'un programme GNU radio qui fait une démodulation FM et le filtrage pour le signal reçu. Dans ce bloc, on a deux solutions; le signal envoyé est reçu directement par un décodeur qui donne les coordonnées GPS en forme des messages textes ou il l'envoie à partir des cartes audio vers un autre ordinateur sous Windows ou encore, il y a un programme AGW Packetengine qui capte les signaux de carte audio puis les décode et les envoient à un autre programme AGWTracker qui fait les traces et l'affichage des coordonnées GPS sur des cartes (Maps) en ligne comme Google, Yahoo, bing ... ou des autres cartes locales.

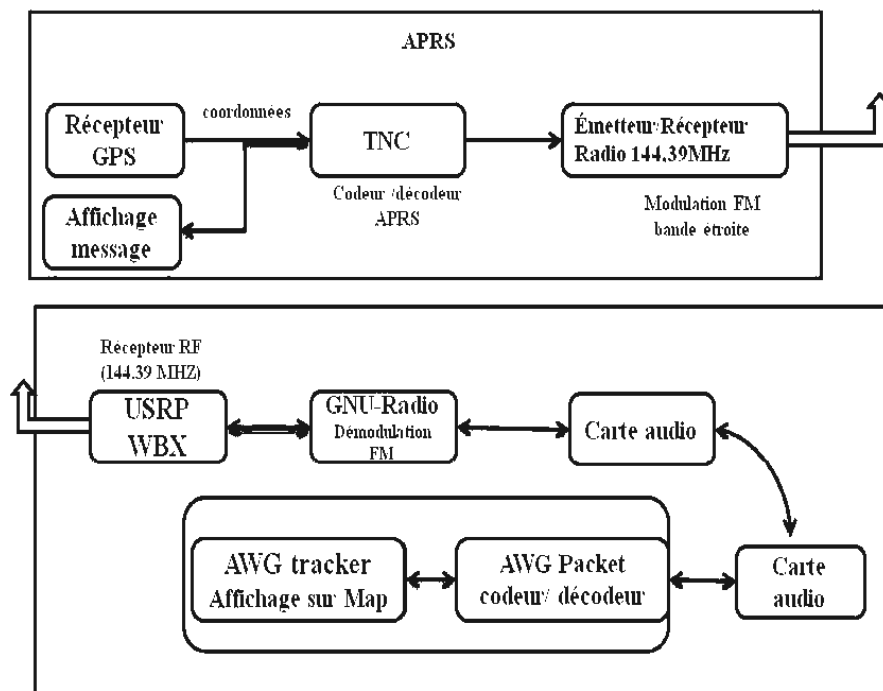


Figure 4.10: Adaptation d'un système APRS sur une station de base SDR

## 4.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre on a traité les approches qu'on a proposées pour la localisation sur une plateforme SDR et on a travaillé sur trois méthodes.

La première méthode, c'est la méthode fréquentielle basée sur l'adaptation d'un radar FMCW sur le SDR et, comme on l'a vu, il y a une complexité de choisir la fréquence de réception théoriquement.

La deuxième méthode, c'est la méthode temporelle. L'inconvénient de cette méthode est que lors de l'adaptation de la technique radar FMCW sur le SDR pour calculer la distance séparant la station de base de la cible à partir du déphasage entre le signal émis et le signal reçu, il y a une variation de déphasage en fonction de temps entre les deux signaux, et en plus, il y a une variation de temps de traitement du signal dans la station de base qui donne des erreurs de localisation importantes.

La troisième méthode, c'est la méthode basée sur le GPS pour la localisation de personnes dans les zones lointaines, et dans les cas d'urgence. La balise RF qu'on a choisi c'est l'APRS qui est formé d'un GPS d'un TNC et d'un émetteur-récepteur radio. Avec l'APRS, on peut envoyer les coordonnées GPS, le temps d'émission du message, l'identification, l'échange bidirectionnel entre la station de base et la cible, et l'adaptation de cette technique sur la station de base SDR. Au chapitre suivant, on pourra constater les résultats de l'adaptation de l'APRS sur la station de base SDR.

## CHAPITRE 5

### RÉSULTATS

#### 5.1 INTRODUCTION

Tel qu'on l'a exposé au chapitre précédent, la méthode qui a été retenue pour notre projet de localisation, c'est la méthode GPS. L'APRS, c'est la balise RF qu'on va utiliser pour la localisation de personnes. Avec cette balise, on peut envoyer coordonnées GPS avec quelques informations à la station de base SDR. Ce chapitre présente les résultats de l'adaptation de la technique APRS sur le SDR. On a choisi deux APRS, le premier c'est le MT-AIO (Micro-Trak All-In-One) et le deuxième c'est le radio KENWOOD TH-D72A.

#### 5.2 MT-AIO (MICRO-TRAK ALL-IN-ONE)

L'APRS qu'on a choisi pour notre projet est le Micro-Trak All-In-One APRS Transmitter (MT-AIO). Le MT-AIO est un APRS, émetteur / récepteur GPS conçu pour une utilisation portable. Le MT-AIO est programmable par ordinateur. On présente au tableau 5.1 les spécifications de ce portable.

Poids	14 onces= 400 g, sans batterie
Alimentation	8 batteries AA
Puissance de sortie	maximum de 10 watts à 13,2 volts en courant continu, réglable

Déviation	3,5 kHz, réglable
Durée d'opération estimée	8 jours, s'il transmet chaque 2 minutes
Stabilité de la fréquence	+/- 1.5 kHz
Température de fonctionnement	-20 à 70 degrés

Tableau 5.1: Spécifiques de MT-AIO [31]

Le circuit MT-AIO est illustré à la figure 5.1. Il est très facile à programmer avec un ordinateur et il peut donner l'identification de chaque personne. Il définit le temps de transmission (on peut le programmer pour qu'il envoie automatiquement leur message) et choisir le temps durant lequel il l'envoie), les coordonnées GPS, et dans les cas d'urgence, il peut envoyer un signal *emergency* à la station de base, tel qu'indiqué à la figure 5.2.

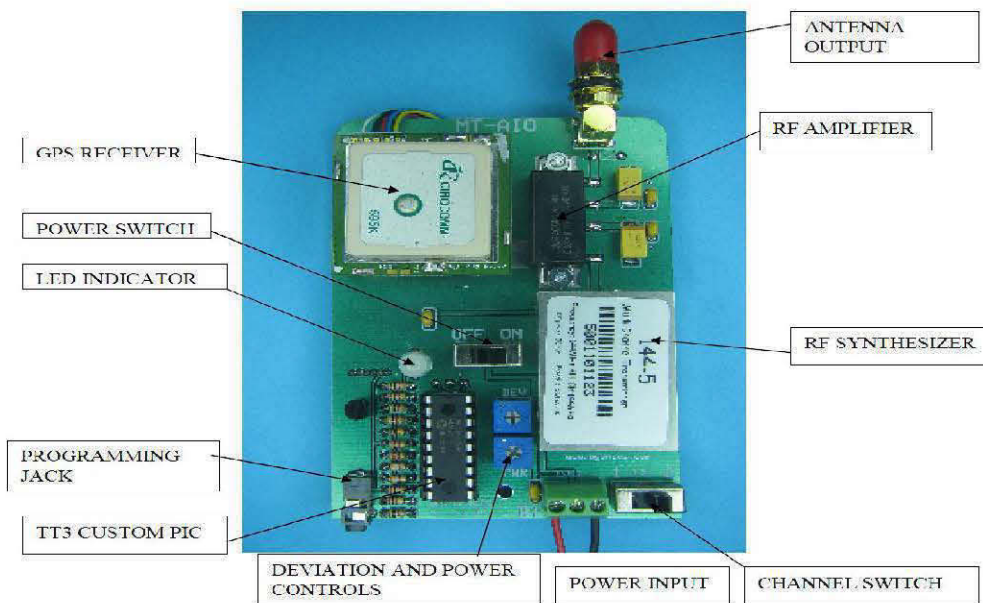


Figure 5.1: Schéma de MT-AIO APRS Transmitter [31]

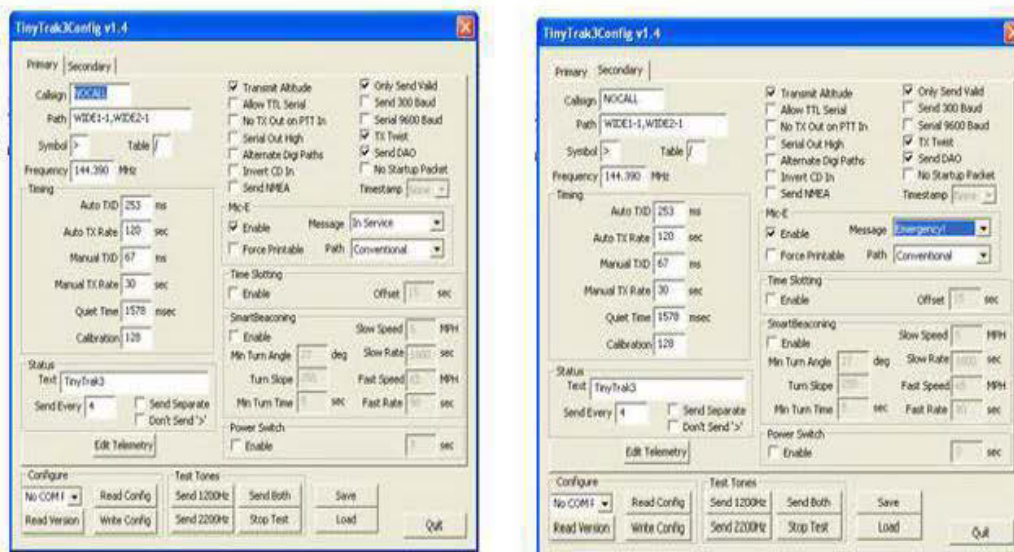


Figure 5.2: Les deux canaux de MT-AIO APRS Transmitter.

Une partie de la simulation pratique de la station de base se trouve à la figure 5.3, on constate qu'elle est formée d'un analyseur de spectre, qui donne les coordonnées GPS avec le nom de la personne qu'on localise et un signal emergency lorsqu'il s'agit d'un cas d'urgence.

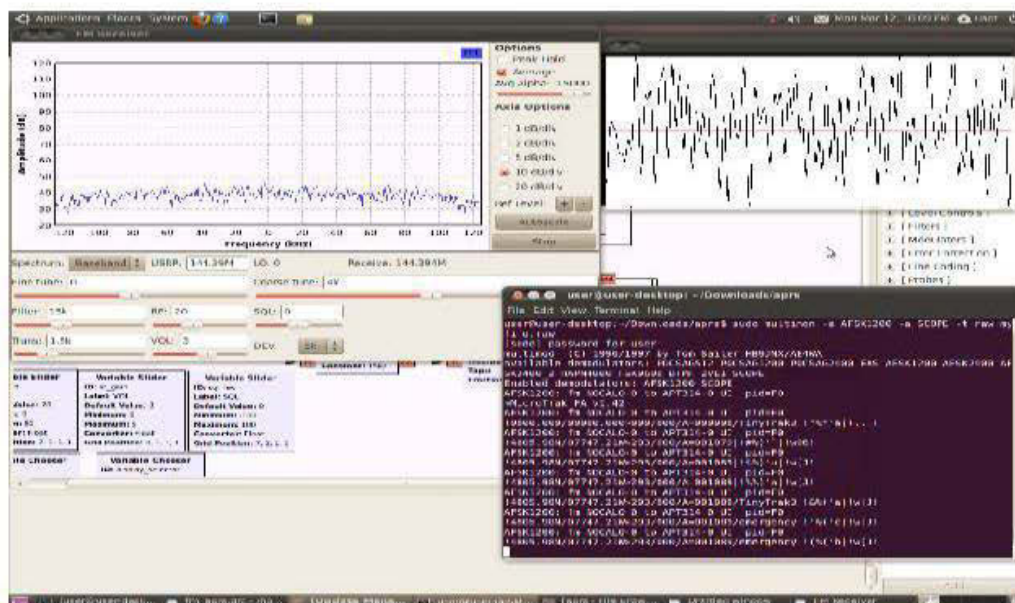


Figure 5.3: Réception des coordonnées GPS sur USRP

Un des résultats de la localisation est présenté à la figure 5.4 où l'on représente la localisation d'une personne dans une voiture. On a localisé cette personne à partir de la réception du signal, d'un APRS MT-AIO Transmitter, avec notre station de base SDR. Ce signal contient les coordonnées GPS. On a envoyé ce signal à partir d'un carte audio, d'un ordinateur où Linux est installé, vers un ordinateur Windows où on a installé le programme AGW Packetengine. Il s'agit d'un programme codeur décodeur des coordonnées GPS, qui décode le message APRS reçu par la station de base et le converti en Maps. On a envoyé le message APRS du Linux vers Windows, car le décodeur de signal AGW Packetengine est un programme sur Windows. Cette mesure a été faite dans la région Val-d'Or sur une distance de localisation d'à peu près 400 m de la station de base avec l'identification de leur nom, qui est *NOCALL*. L'erreur de localisation dans cette technique est à peu près 15 m, ce qui est l'erreur de localisation du GPS.

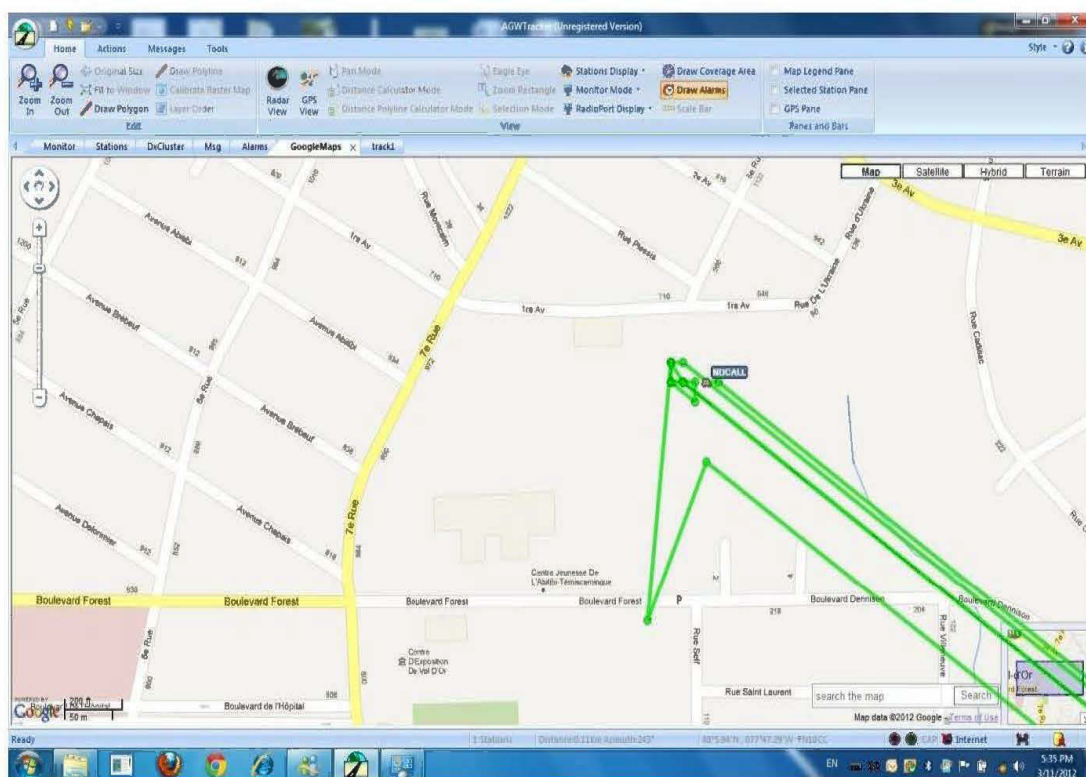


Figure 5.4: Résultats préliminaires de localisation à Val-d'Or

On se rappellera que la problématique de notre projet était la localisation des personnes, l'identification et l'échange bidirectionnel entre la station de base et la personne. Avec l'APRS MT-AIO Transmitter, on a localisé la personne et on a identifié chaque personne par un nom. Il reste toutefois l'échange bidirectionnel entre la personne et la station de base pour qu'elle reste toujours en communication avec la station de base. Pour cela on a passé au Radio KENWOOD TH-D72A.

### 5.3 RADIO KENWOOD TH-D72A

Le radio KENWOOD TH-D72A (figure 5.5), est un émetteur-récepteur FM bi-bande 144/440 MHz (les Amériques) qui a un récepteur GPS, un enregistreur chronologique automatique GPS à 5000 points, un TNC qui est conforme au protocole AX.25, et il comprend un programme permettant de traiter les formats de données pris en charge par l'APRS.



**Figure 5.5 :** Radio KENWOOD TH-D72A



L'avantage de TH-D72A par rapport à la MT-AIO Transmitter, est la possibilité de faire une localisation avec un échange bi-directionnel entre la station de base et le radio mobile, ainsi la communication par message texte entre toutes les personnes ayant cette radio.

On peut programmer cette radio pour qu'il envoie leurs coordonnées GPS manuellement ou automatiquement.

### Chaîne d'émission :

Le schéma blocs sur GNU radio de la chaîne d'émission du signal de la station de base vers le radio TH-D72A est représenté à la figure 5.6. Elle est formée d'un block audio source qui reçoit le message codé du logiciel AGW Packetengine, puis le modulé par le block NBFM Transmit et l'envoyer à partir de le block USRP Sink vers le TH-D72A.

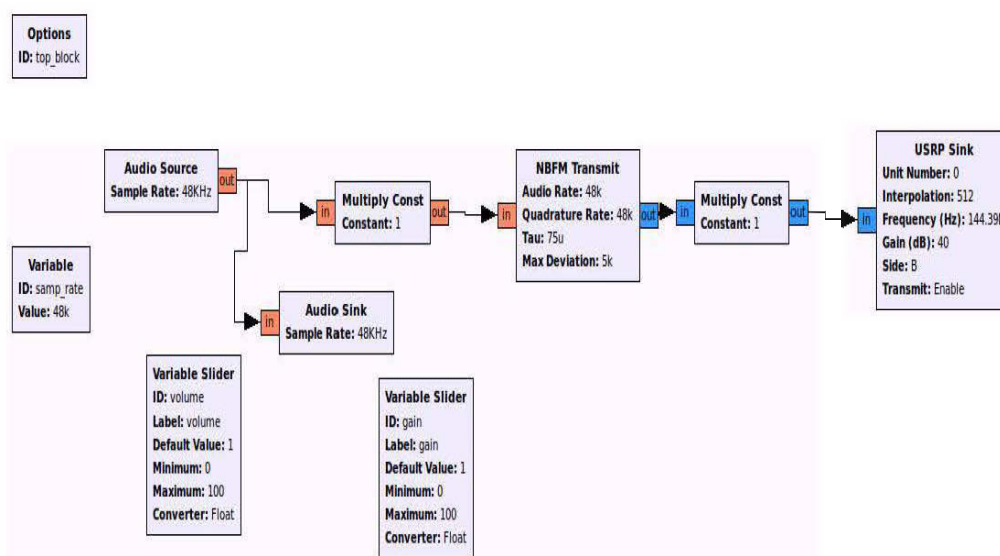


Figure 5.6 : Schéma blocs de la chaîne d'émission du signal vers le TH-D72A

Un exemple de transmission d'un texte message qui été envoyé de la station de base vers le radio mobile est représenté par la figure 5.7. Le radio mobile peut déterminer en plus la durée de réception du message.



Figure 5.7 : Message reçu par le radio TH-D72A

#### Chaîne de réception :

Le schéma blocs sur GNU radio de la chaîne de réception du signal TH-D72A est représenté par la figure 5.8. Elle est formée d'un bloc USRP source qui reçoit le signal, d'un filtre, d'un démodulateur (NBFM Receive), et d'un block Audio Sink qui envoie le signal vers un décodeur de signal AGW Packetengine pour le décoder et l'afficher sur Maps.

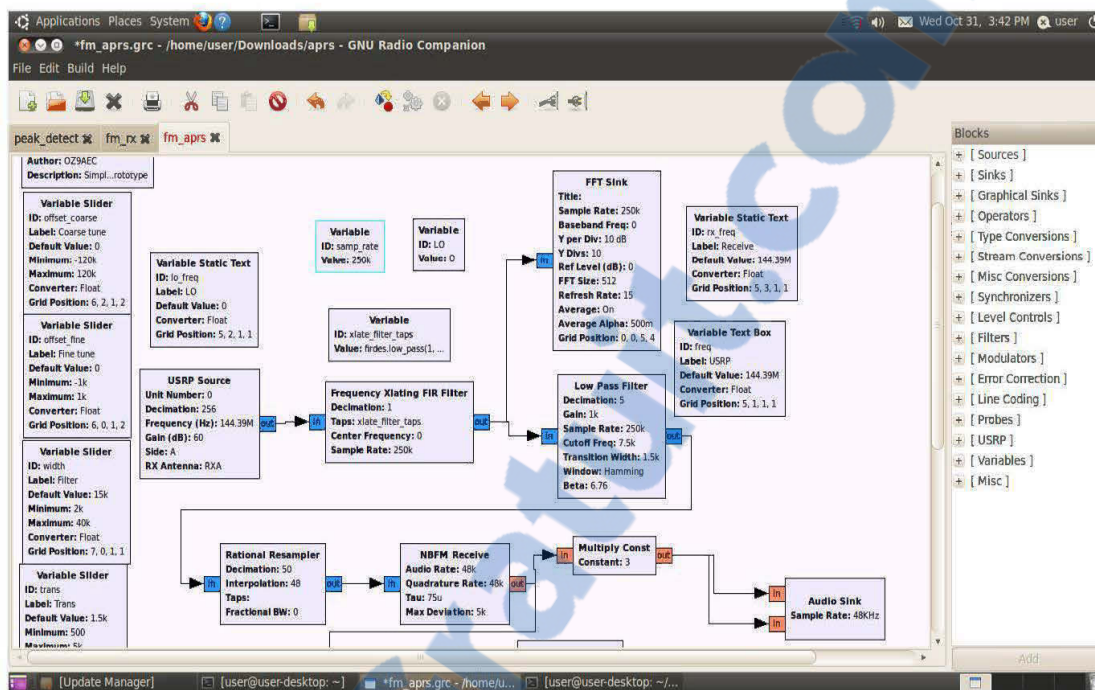


Figure 5.8 : Chaîne de réception du signal TH-D72A

Un exemple de résultat de la réception du signal radio TH-D72A par la station de base SDR est représenté sur l'analyseur de spectre de GNU radio comme indique la figure 5.9 ci-dessous.

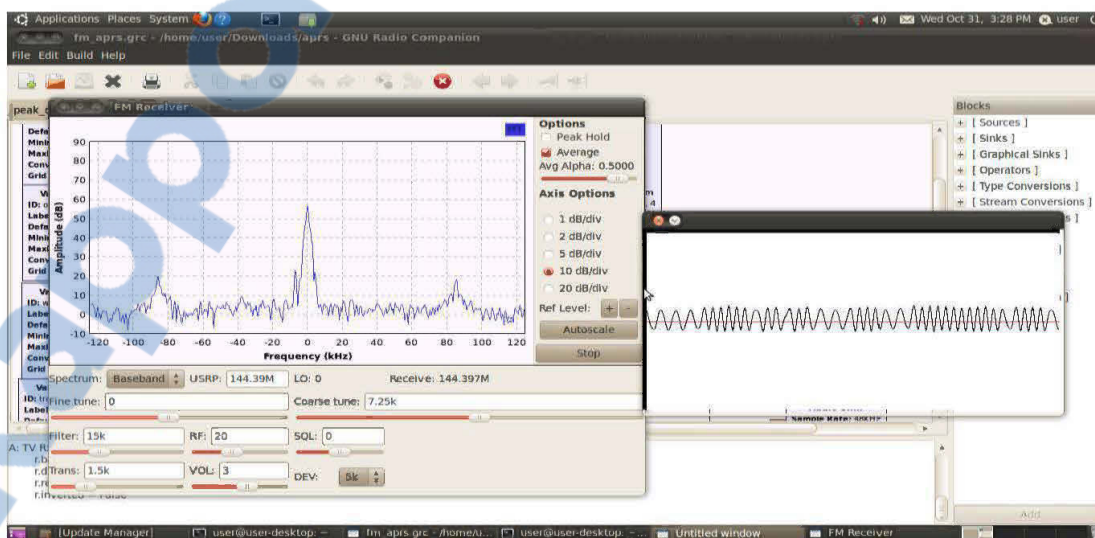
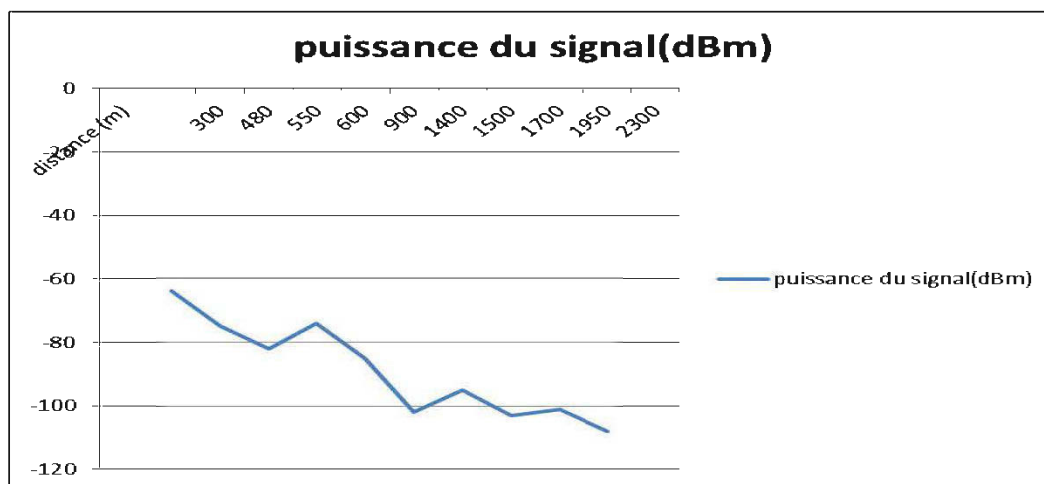


Figure 5.9: Réception du signal TH-D72A sur le GNU radio

	Lamaque		
W3	730 4e Avenue	550	-82
W4	921 4e Avenue	900	-85
W5	1251 4e Avenue	1400	-102
W6	1420 4e Avenue	1950	-101
W7	1600 3 <sup>e</sup> Avenue	2300	-108
W8	1338 3 <sup>e</sup> Avenue	1700	-103
W9	1258 3 <sup>e</sup> Avenue	1500	-94
W10	708 3 <sup>e</sup> Avenue	480	-75

**Tableau 5.2 :** Les résultats de localisations

La figure 5.11 ci dessous représente la courbe de la puissance du signal en fonction de la distance pour dix points. Parmi ces derniers, il y a des point qui sont face à face (line of sight) et il y a des points qui ne sont pas face à face (non line of sight).



**Figure 5.11 :** Puissance du signal reçu en fonction de la distance

## 5.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre on a présenté les résultats de localisation des personnes dans la région Val-d'Or, en utilisant deux balises RF, la première c'est le MT-AIO Transmitter, et la deuxième c'est le radio KENWOOD TH-D72A.

Le MT-AIO Transmitter, il a localisé les personnes sur une distance de 400 mètres à peu près et il a identifié chaque personne.

Le radio KENWOOD TH-D72A, a envoyé leurs coordonnées GPS vers la station de base SDR, il a reçu un message de la station de base sur une distance de 2300 mètres à peu près, ce qui indique une localisation avec un échange bi-directionnel entre la station de base et la personne. Il a identifié chaque personne.

## CHAPITRE 6

### CONCLUSION

Ce projet a porté principalement sur la localisation des personnes dans les zones lointaines. Il fait partie d'un projet plus grand qui s'appelle Sécurinet, dont l'idée maitresse est de déployer des stations de base dans les zones lointaines pour permettre des radiocommunications là où il n'y a pas de couverture.

La station de base qui a été choisi pour ce projet, c'est la radio définie par logiciel-SDR. On y a montré les deux techniques de localisation, la première basée sur la modélisation mathématique du canal de propagation et la deuxième qui utilise des algorithmes basés sur les approches radars peuvent être utilisées.

Dans la modélisation mathématique du canal de propagation, on a identifié quatre techniques, la première basée sur la puissance, la deuxième basée sur l'angle d'arrivée du signal, la troisième basée sur le temps d'arrivée et la dernière basée sur la différence entre les temps d'arrivée. On a aussi présenté les avantages et les inconvénients pour chaque technique.

On a aussi présenté les différents types du radar, comme les radars impulsionnels et les radars à onde continue et, tel que nous l'avons démontré, la technique du radar à onde continue modulée en fréquence est la plus appropriée à notre problème, car elle mesure la distance et la vitesse de la cible ou de la personne qu'on veut localiser.

Au quatrième chapitre, on a indiqué les approches proposées pour la localisation avec une station de base SDR, et comme on l'a vu, il y a trois méthodes possibles. Les deux méthodes fréquentielle, temporelle qui sont basées sur l'adaptation du signal radar FMCW à la station de base SDR et à cause des erreurs de localisation et de synchronisations, on a passé à la troisième méthode qui est la méthode GPS.

La balise RF choisie pour l'adaptation de la méthode GPS c'est l'APRS, qui est formée d'un GPS, un TNC et d'un émetteur récepteur radio. Le chapitre 5 représente l'adaptation du système APRS sur la station de base SDR et les résultats de l'adaptation. L'erreur de localisation de cette méthode est très petite et c'est la même que l'erreur de localisation GPS, soit à peu près 15 mètres. La mesure a été faite à Val-d'Or sur une distance approximative de 400 mètres avec le MT-AIO Transmitter, et sur une distance approximative de 2300 mètres avec le radio KENWOOD TH-D72A.

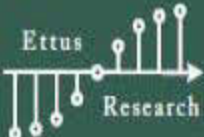
### 6.1 SUGGESTIONS DE TRAVAUX FUTURS

Plusieurs prolongements à ce travail pourraient être envisagés. Dans ce projet, on a fait une localisation dans la région du Val-d'Or sur une distance de 400 mètres. Un prolongement possible est d'augmenter la distance de localisation jusqu'à quelques kilomètres, avec l'utilisation d'antennes qui sont plus professionnelles pour la mesure. Un autre prolongement possible de ce travail serait la communication entre les personnes ayant ces balises RF, car lorsqu'une personne est dans un cas d'urgence, leur temps d'attente soit le plus court possible.

Enfin, un troisième prolongement à ce travail pourrait être d'envoyer des messages audio entre la station de base et la personne, car dans beaucoup de cas, la personne ne peut pas envoyer un message texte, et il est plus facile est d'envoyer un message audio.

## ANNEXE A

## Caractéristiques d'USRP1 :




## Universal Software Radio Peripheral

The Foundation for Complete Software Radio Systems

### THE USRP SYSTEM

The Universal Software Radio Peripheral (USRP) enables engineers to rapidly design and implement powerful, flexible software radio systems. The intuitive USRP design helps you to get your software radio up and running quickly. Simply download GNU Radio, a complete open source software radio and signal processing package, and the USRP is ready to use. Once you install the software and plug the USRP into a host computer, it is ready to transmit and receive a virtually limitless variety of signals.

The true value of the USRP is in what it enables engineers and designers to create on a low budget and with a minimum of effort. A large community of developers and users have contributed to a substantial code base and provided many practical applications for the hardware and software. The powerful combination of flexible hardware, open-source software and a community of experienced users makes it the ideal platform for your software radio development.



### BENEFITS

- Low cost, flexible platform
- Large community of developers
- Close coupling with the GNU Radio software radio framework forms a flexible and powerful platform

### FEATURES

- Four 64 MS/s 12-bit analog to digital Converters
- Four 128 MS/s 14-bit digital to analog Converters
- Four digital downconverters with programmable decimation rates
- Two digital upconverters with programmable interpolation rates
- High-speed USB 2.0 Interface (480 Mb/s)
- Capable of processing signals up to 16 MHz wide
- Modular architecture supports wide variety of RF daughterboards
- Auxiliary analog and digital I/O support complex radio controls such as RSSI and AGC
- Fully coherent multi-channel systems (MIMO capable)



## HARDWARE

The USRP can simultaneously receive and transmit on two antennas in real time. All sampling clocks and local oscillators are fully coherent, thus allowing you to create MIMO (multiple input, multiple output) systems.

In the USRP, high sample-rate processing takes place in the field programmable gate array (FPGA), while lower sample-rate processing happens in the host computer. The two onboard digital downconverters (DDCs) mix, filter, and decimate (from 64 MS/s) incoming signals in the FPGA. Two digital upconverters (DUCs) interpolate baseband signals to 128 MS/s before translating them to the selected output frequency. The DDCs and DUCs combined with the high sample rates also greatly simplify analog filtering requirements.

Daughterboards mounted on the USRP provide flexible, fully integrated RF front-ends. A wide variety of available daughterboards allows you to use different frequencies for a broad range of applications. The USRP accommodates up to two RF transceiver daughterboards (or two transmit and two receive) for RF I/O.

Available daughterboards include:

- DC to 30 MHz receiver
- DC to 30 MHz transmitter
- 1 MHz to 250 MHz receiver
- 1 MHz to 250 MHz transmitter
- 50 to 860 MHz receiver
- 800 MHz to 2.4 GHz receiver
- 750-1050 MHz transceiver
- 1150-1450 MHz transceiver
- 1.5-2.1 GHz transceiver
- 2.3-2.0 GHz transceiver
- 50 MHz to 1 GHz transceiver
- 800 MHz to 2.2 GHz transceiver
- 2.4 GHz and 5 GHz Dualband transceiver

## OPEN SOURCE

The entire USRP design is open source, including schematics, firmware, drivers, and even the FPGA and daughterboard designs. When combined with the open source GNU Radio software, you get a completely open software radio system enabling host-based signal processing on commodity platforms. No software or licenses need to be purchased. It provides a complete development environment to create your own radios.

While most often used with GNU Radio software, the USRP is flexible enough to accommodate other options. Some users have created their own SCR environments for the USRP, while others have integrated the USRP into the LabView and Mathlab/Simulink environments.

## SPECIFICATIONS

### Supported Operating Systems

- Linux
- Mac OS X
- Windows XP, Windows 2000
- FreeBSD, NetBSD

### Input

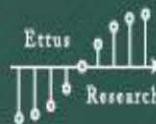
Number of input channels: 4 (or 2 I-Q pairs)  
 Sample rate: 64 Ms/s  
 Resolution: 12 bits  
 SFDR: 85 dB

### Output

Number of output channels: 4 (or 2 I-Q pairs)  
 Sample rate: 128 Ms/s  
 Resolution: 14 bits  
 SFDR: 83 dB

### Auxiliary I/O

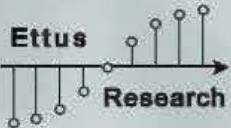
High-speed digital I/O: 64 bits  
 Analog input: 8 channels  
 Analog output: 8 channels



Tel: +1-850-967-2870  
 Fax: +1-888-807-9801  
 1580 West El Camino Real  
 Suite 4  
 Mountain View, CA 94040  
 sales@ettus.com  
 www.ettus.com

## ANNEXE B

Caractérisation de la carte fille TVRX :



## TX and RX Daughterboards

For the USRP Software Radio System


---

### BasicTX and BasicRX


**1 MHz to 250 MHz Transmitter and Receiver**

The BasicTX and BasicRX are designed for use with external RF frontends as an intermediate frequency (IF) interface. The ADC inputs and DAC outputs are directly transformer-coupled to SMA connectors (50Ω impedance) with no mixers, filters, or amplifiers.

The BasicTX and BasicRX give direct access to all of the signals on the daughterboard interface (including 16 bits of high-speed digital I/O, SPI and I2C buses, and the low-speed ADCs and DACs), and as such are useful for developing your own daughterboards or custom FPGA designs.



BasicTX




BasicRX

---


### LFTX and LFRX

**DC to 30 MHz Transmitter and Receiver**

The LFTX and LFRX are very similar to the BasicTX and BasicRX, respectively, with 2 main differences. Because the LFTX and LFRX use differential amplifiers instead of transformers, their frequency response extends down to DC. The LFTX and LFRX also have 30 MHz low pass filters for antialiasing.



LFTX



LFRX


---

### TVRX

**50 MHz to 860 MHz Receiver**

The TVRX daughterboard is a complete VHF and UHF receiver system based on a TV tuner module. Simply connect an antenna, and you can receive a 6 MHz wide block of spectrum from anywhere in the 50-860 MHz range. All tuning and AGC functions can be controlled from software. This board is useful for much more than just receiving television! Typical noise figure is 8 dB.

*Note: The TVRX is the only daughterboard which is NOT MIMO capable.*



TVRX


---

### DBSRX

**800 MHz to 2.4 GHz Receiver**

The DBSRX is a complete receiver system for 800 MHz to 2.4 GHz with a 3-5 dB noise figure. The DBSRX features a software controllable channel filter which can be made as narrow as 1 MHz, or as wide as 60 MHz. The DBSRX frequency range covers many bands of interest, including all GPS and Galileo bands, the 902-928 MHz ISM band, cellular and PCS, the Hydrogen and Hydroxyl radio astronomy bands, DECT, and many more. The DBSRX is MIMO capable, and can power an active antenna via the coax.

*Note: The DBSRX is NOT guaranteed to cover the 2.4-2.48 GHz ISM band.*



DBSRX

---

Tel: +1-850-967-2870 • Fax: +1-866-907-9901 • sales@ettus.com • 1043 N. Shoreline Blvd., Suite 100, Mountain View, CA 94043 • www.ettus.com

## ANNEXE C

## Caractérisation du radio KENWOOD TH-D72A :

Featuring the SiRFstar III™ high-performance GPS receiver, Kenwood's TH-D72A dual-band transceiver is compatible with APRS® data communications. Offering position and weather information, The TH-D72A opens up broad new vistas of outdoor enjoyment, especially for activities like trekking.

**Built-in high-performance GPS receiver**

The SiRFstar III™ GPS receiver, widely recognized for its high accuracy, is built into the top of the transceiver.



GPS receiver



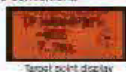
GPS status and signal strength display

**Target point functions**

You can store up to 5 target points and display, in real time, the direction and distance to each of these. You can also switch instantly between north-up and heading-up displays, whichever you find more convenient.



Target point display (north up)



Target point display (heading up)

**GPS Logger functions**

- Store up to 5,000 points of track data in internal memory.
- Choose from 3 different timing options for storing data — Interval, travel distance, or beacon TX point (example: if set to a 10-second interval, logging is possible for up to about 14 hours).
- Convert GPS log data to the KML file format used by Google Earth™ using the MCP-4A memory control program. Extend operating hours (up to 25 hours per charge) by switching off transceiver functions and using just GPS.



Dedicated GPS mode



Log memory

**APRS® firmware equipped as standard**

Kenwood engineers working closely with Bob Bruninga (WB4APR), who first developed APRS (Automatic Packet Reporting System), Kenwood has developed system firmware for the TH-D72A that enables easy APRS operation without requiring a computer. The built-in GPS receiver provides positional information, while weather information can be acquired by connecting a meteorological device. All of this information can be exchanged with other stations, and it can also be output to a PC for map display using commercially available APRS application software.

**USB (Mini-B) port**

You can connect the TH-D72A directly to your PC with the supplied USB cable.

**Built-in 1200/9600 bps TNC compliant with AX.25 protocol**

The built-in TNC (Terminal Node Controller) is compatible with the AX.25 protocol, providing full access to APRS functions. A wide range of APRS applications can be used if the TH-D72A is connected to a PC with the supplied USB cable to enable control of the TNC; it is further possible to operate the radio as an iGate station (wireless-Internet gateway) or as a digipeater station (relay station for wireless packet communications).

**Stand-alone digipeater**

On its own, the TH-D72A can serve as a digipeater. It can thus be used in various outdoor situations as a digital repeater for packet communications — for example supporting data communications from a location surrounded by mountains.

**Simple node access with EchoLink® memory**

You can store call signs, node numbers, commands, etc., in up to 10 DTMF memory channels dedicated to EchoLink. And thanks to automatic call-sign/DTMF conversion, it is easy to make use of EchoLink's Connect by call and Query by call. Moreover, the MCP-4A software allows you to manage EchoLink memory.

**Support for MCP-4A software**

With the MCP-4A Memory Control software (a free download from the Kenwood website), you can use a computer to input, edit and manage data — for the TH-D72A's memory channels and APRS functions, for example. You can also back up GPS log data to your PC.



**TravelPlus:** Kenwood's MCP-4A software is compatible with ARRL TravelPlus for Repeaters; this allows data export to the TH-D72A, making trip-planning easy.

TravelPlus is available from the ARRL at: [www.arrl.org](http://www.arrl.org)

**APRS® features that expand your enjoyment****Positional/directional data**

With the internal NMEA 0183 compatible GPS receiver, information is available on distance, speed and heading in addition to latitude, longitude and altitude.

**Meteorological information**

This transceiver can be connected to most Peet Bros. and Davis weather stations for access to wind speed/direction, rainfall, temperature, humidity and barometric pressure information.

**Station list**

This stores a maximum of 100 stations — including fixed base, mobile, object and weather stations — and offers filtering so you can select from different types of station. You can also sort them by call sign, reception time and distance from your own station.





**Enhanced operating ease and visibility**

Thanks to the menu and arrow keys, selecting the many different functions is intuitively easy. All keys are backlit to facilitate use in the dark, and the full dot matrix LCD screen ensures the icons and text messages are clearly visible. Also, the rotary encoder knob on the top of the transceiver allows separate adjustment of volume and frequency.

**MIL-STD810 & IP54 weatherproofing**

Heavy-duty specs mean you do not have to worry about getting caught in a shower. Fully prepared for tough outdoor conditions, the TH-D72A is very robust. And as well as offering IP54 levels of dust-proofing and splash-proofing, it meets or exceeds the US MIL-STD standards for rain, humidity, vibration and shock.

**Power-on message**

On powering up, the transceiver will display your call sign and a message for 2 seconds. You can compose messages of up to 2 characters, and if you use the MCP-4A software you can have the transceiver display an icon of your own design.



**Long operating hours (high-capacity battery included)**

The TH-D72A comes with a rechargeable 1,800mAh lithium-ion battery. A single charge will power the transceiver for approximately 6 hours of continuous use with TX output set to the 5-watt maximum. Output can be set to HI (5W), LOW (0.5W), or EL (0.05W).

**Dual receive on same band (VxV, UxU)**

In addition to simultaneous receive on both 144 MHz and 440 MHz bands, this radio can receive two frequencies on the same band. This means, say, that you can arrange to have both the call channel and local channel, or the repeater channel and local channel, on the same VHF or UHF band.

**Kerwood Sky Command System II**

The Kerwood Sky Command System II allows you to use the TH-D72A for remote access to Kerwood's designated HF radios. Operating as the Commander, your TH-D72A transmits control signals to the Transporter, which also relays your voice to the HF radio. In return, HF signals are transmitted back to the Commander. This system allows you to transmit and receive HF signals, set frequencies (with LCD confirmation), switch memory channels, and much more – all remotely. You can thus enjoy HF access using the TH-D72A while making a quick trip to the local store.



**Weather Alert/RX (US only)**

This transceiver is capable of receiving the NOAA Weather Band and responding to emergency transmissions such as storm warnings by emitting an audible alert tone.

**Other features**

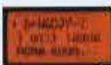
- 1,000 memory channels and 8-character names
- 9 scan modes (VFO, Program, MFL, Memory, Memory Group, Call, Tone, CTCSS, DCS)
- 42 CTCSS frequencies
- 104 DCS (Digital Code Squelch) codes
- Cross-tone
- Waypoint export
- DX cluster tune
- Click (detuning)
- Band mask
- Call channel
- Monitor
- Auto power-off
- MHz mode
- Selectable frequency step
- Shift
- VOX
- Auto repeater offset
- Automatic simplex checker
- DTMF memory (10 channels, 16 digits)
- DTMF remote control
- Time-out timer
- Key lock
- APRS lock
- Power-on password
- Memory shift
- Programmable VFO
- Key beep on/off
- Programmable function key
- Channel display mode
- Adjustable LCD contrast
- Reset (VFO, PART, FULL)
- External GPS receiver input (2.5mm stereo jack)

**Automatic display of relay path**

A pop-up display showing the call sign of a digipeater currently relaying your own beacon enables you to check on wireless traffic at a glance.

**Messaging**

- Messages: up to 100 (max. 67 characters each)
  - Status: 5 x max. 42 characters
  - User phrases (editable messages): 8 types x max. 32 characters
- A special call function provides immediate notification when a message is received from a designated station.



**Multiple functions accessible from over 60 APRS menus**

- CSY function (exchange of operating frequency data)
- Auto message reply
- Packet filter
- Decay algorithm (automatic extension of transmit interval)
- Proportional panning (automatic selection of relay path)
- SmartBeaconing™
- 52 graphic symbols (icons)
- 3 types of grid square locator



### Optional Accessories



**PB-45L**  
Li-ion Battery Pack  
(7.4V/1,800mAh)



**BT-15**  
Battery Case  
(AAAx6)



**SMC-32**  
Speaker  
Microphone



**SMC-33**  
Speaker Microphone  
with Remote Control



**SMC-34**  
Speaker Microphone  
with Volume & Remote  
Control



**KHS-26**  
Clip Microphone  
with Earphone



**KHS-22**  
Headset



**KSC-32**  
Rapid Charger



**PG-1J**  
Digital Lighter Cable  
with Noise Filter



**PG-2W**  
DC Cable



**SC-55**  
Soft Case with  
Swivel Belt Clip

### Supplied Accessories



- Li-ion battery pack (7.4V/1,800mAh) • AC adapter
- Antenna • USB cable • Belt hook (with screw)
- Instruction manual (English/Spanish/French)
- CD-ROM (for detailed instruction manual and USB driver)

\*SRTstarII™ is a trademark of CSR plc.  
 \*Google Earth™ is a trademark of Google Inc.  
 \*APRS® is a registered trademark of Bob Bruninga®.  
 \*Echolink® is a registered trademark of Synergistics, LLC.  
 \*SmartBeaconing is supplied by Ham HUI Electronics, LLC.

### TH-D72A Specifications

GENERAL			
Frequency Range	Band A & B	TX (VHF)	144 – 148 MHz
		TX (UHF)	430 – 450 MHz
Frequency Range	Band A	RX (VHF)	136 – 174 MHz
		RX (UHF)	410 – 470 MHz
	Band B	RX (VHF)	118 – 174 MHz
		RX (UHF)	320 – 528 MHz
Mode			F1D, F2D, F3E
Antenna Impedance			50 Ω
Power Requirements (nominal)	External Battery	DC 12.0-16.0 V (Standard Voltage: DC 12.0 V) DC 5.5-9.0 V (Standard Voltage: DC 7.4 V)	
Operating Temperature Range			-4 °F – 140 °F (-20 °C – +60 °C) With PB-45L Li-ion Battery: 14 °F – 122 °F (-10 °C – +50 °C)
Frequency Stability			Within ±5 ppm (14 °F – 122 °F)
Battery Life	With PB-45L	HI	Approx. 6 Hours
		LOW	Approx. 12 Hours
		EL	Approx. 15 Hours
	With BT-15 (AAAx6)	HI	Approx. 1.5 Hours
		LOW	Approx. 6 Hours
		EL	Approx. 6 Hours
Dimensions (W x H x D)	Projections not included	2.28" x 4.76" x 1.31" (58 x 121.3 x 33.2 mm)	
	Including Projections	2.28" x 5.51" x 1.57" (58 x 140 x 39.8 mm)	
Weight	With PB-45L, antenna and belt hook		Approx. 13.1 oz (370 g)
TRANSMITTER			
RF Output Power	HI		5 W
	LOW	with BT-15	Approx. 2 W
	EL		Approx. 0.5 W
			Approx. 0.05 W
Modulation			Reactance Modulation
Maximum Frequency Deviation			FM: ±5 kHz, N-FM: ±2.5 kHz
Spurious Radiation			Less than -60 dB
Modulation Distortion (300 Hz - 3 kHz)			Less than 3 %
Microphone Impedance			2 kΩ
RECEIVER			
Circuitry			Double Super Heterodyne
Intermediate Frequency	1st IF (Band A / Band B)		49.96 MHz / 45.05 MHz
	2nd IF (Band A / Band B)		450 kHz / 455 kHz
Sensitivity (12 dB SINAD)	Band A / Band B		Less than 0.16 V / Less than 0.22 V
Squelch Sensitivity			Less than 0.13 V
Selectivity			More than 11 kHz Less than 30 kHz
Audio Output (at 8 Ω, 10 % distortion)			More than 200 mW (at 7.4 V)

Kenwood reserves the right to change specifications and features without prior notice. These specifications are guaranteed for Amateur Bands only.

### Typical Sensitivity (excluding VHF / UHF Amateur Bands)

Frequency Range	Band A		Band B	
	FM: 12 dB SINAD	AM: 10 dB S/N	FM: 12 dB SINAD	AM: 10 dB S/N
118 – 135.996 MHz	-	-	Approx. -11 dBμ (0.28 μV)	Approx. -9 dBμ (0.4 μV)
136 – 143.996 MHz	Approx. -11 dBμ (0.28 μV)	-	Approx. -11 dBμ (0.28 μV)	-
144 – 173.996 MHz	Approx. -12 dBμ (0.22 μV)	-	Approx. -13 dBμ (0.22 μV)	-
320 – 329.996 MHz	-	-	Approx. 2 dBμ (1.25 μV)	Approx. 7 dBμ (2.24 μV)
340 – 379.996 MHz	-	-	Approx. -5 dBμ (0.56 μV)	Approx. 0 dBμ (1.0 μV)
380 – 389.996 MHz	-	-	Approx. -8 dBμ (0.4 μV)	Approx. -8 dBμ (0.4 μV)
400 – 409.996 MHz	-	-	Approx. -13 dBμ (0.22 μV)	-
410 – 429.996 MHz	Approx. -12 dBμ (0.22 μV)	-	Approx. -13 dBμ (0.22 μV)	-
450 – 469.996 MHz	Approx. -12 dBμ (0.22 μV)	-	Approx. -13 dBμ (0.22 μV)	-
470 – 499.996 MHz	-	-	Approx. -8 dBμ (0.4 μV)	-
500 – 523.996 MHz	-	-	Approx. 0 dBμ (1.0 μV)	-

### Listen to the Future

Kenwood has always connected with people through sound. Now we want to expand the world of sound in ways that only Kenwood can. Listening to our customers and to the pulse of the changing age we meet tomorrow's future of shared discovery, vibration and enjoyment.

**Kenwood U.S.A. Corporation**  
 Communications Sector Headquarters  
 3970 John Creek Court, Suite 100, Suwanee, GA 30024  
**Order Administration/Distribution**  
 P.O. BOX 22745, 2201 East Domingue St., Long Beach, CA 90801-5245

**Kenwood Electronics Canada Inc.**  
 Canadian Headquarters and Distribution  
 6070 Kentral Road, Mississauga, Ontario, Canada L2T 1S6



425B4410 Printed in USA

## ANNEXE D

Caractérisation de l'antenne :



Model 1400 VHF

## ALUMINUM OMNI BASE STATION ANTENNA

### Specifications:

GAIN	6 dBd
VSWR	Less than 1.5:1 over a 10 MHz bandwidth at any frequency setting
FREQUENCY	135 - 174 MHz
POLARIZATION	Vertical
IMPEDANCE	50 Ohm
CONFIGURATION	Grounded 5/8 over 5/8 wave length
POWER CAPACITY	200 Watts
CONNECTOR	UHF Female (SO-239)

### Assembly:

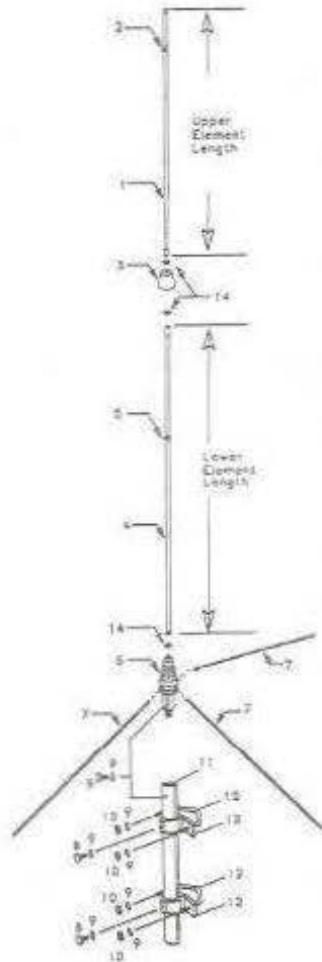
1. Refer to drawing (back side). Install spring washer (14) onto threads end of matching coil (6) and screw into lower radiator element (4). Tighten securely with wrench.
2. Install spring washer (14) onto threads at bottom of phasing coil/upper radiator element assembly (1 and 3) and screw into top of lower radiator element (4). Tighten securely with wrench.
3. Adjust length of elements for desired frequency band referring to adjustment instructions below and cutting chart (back side).
4. Screw the three radial elements (7) into threaded holes at the bottom of matching coil (6) and finger tighten. Securely by tightening lock nuts with wrench.
5. Secure support pipe (11) to mounting pole (not included) in desired location using mast brackets (13), v-bolts (12), locking screws (8), lock washers (9), and either self locking nuts or nuts (10) and lock washers (9) supplied. Tighten securely with wrench.
6. Install PL-259 connector (not included) onto coaxial cable from radio and run it up through support pipe (11) and screw PL-259 tightly onto SO-239 connector at base of matching coil (6). Lower assembled antenna into support pipe with open threaded hole turned so that it will align with hole in support pipe for locking screw. Thread locking screw (8) with lock washer (9) installed into hole and tighten security with wrench.

### Adjustment:

Loosen the screw of clamp (2 and 5) on each element (upper radiator and lower radiator) and slide the radiator to length frequency shown in the adjusting chart (back side). Tighten the clamp securely.

Tram-Browning, Inc.  
PO Box 5056  
Edmond, OK 73083 USA

# TRAM Model 1400 VHF



## PARTS LIST

REF#	DESCRIPTION	QTY
1	Upper radiator element	1
1.1	Upper section element	1
1.2	Flaring cap	1
4	Lower radiator element	1
3	Lower section element	1
6	Mounting Coll	1
7	Radial element w/ lock nut	3
8	Locking screw	3
9	Lock washer	3
10	Nut	3
11	Support plate	1
12	V-bolt	2
13	Bracket	2
14	3/8" spring washer	2

## ADJUSTING CHART

FREQUENCY MHz	UPPER ELEMENT LENGTH		LOWER ELEMENT LENGTH	
	INCH	MM	INCH	MM
135-138	55 1/8	1400	41 3/8	1060
140-144	53 3/4	1365	40 7/16	1040
144-148	52 3/8	1330	39 7/8	1010
148-152	51 3/8	1295	39 1/8	990
154-158	50 5/8	1260	38 11/16	980
158-162	49 1/2	1225	38 1/8	970
162-166	48	1200	37 7/8	960
166-170	47 1/16	1185	37 1/2	950
170-174	45 3/4	1150	36 1/2	930



**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Wassi, G. I., Radiolocalisation en milieu confiné non stationnaire, Mémoire de Maitrise, Université LAVAL Québec, Canada, Mai 2005, pp.5-24.
- [2] Wilson, D., Emerging technology: Will software-defined radio shake up communications, Electronics Design, Strategy, News, vol. 2009, Aug 2007, pp. 1.
- [3] BEN ROMDHANE, M., Échantillonnage Non Uniforme appliqué à la Numérisation des Signaux Radio Multistandard, Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Télécommunications de Paris, France, Février 2009, pp. 5-24.
- [4] Patton, L.K., A GNU Radio Based Software-Defined Radar, Master of Science in Engineering, Wright State University, Dayton, Ohio, USA, April 2007, pp. 1-50.
- [5] Amante Garcia, B., Conception d'un radar d'aide à la conduite automobile utilisant un système discriminateur de fréquence type "six-port", Thèse de Doctorat, Télécom Paris Tech, Paris, France, Décembre 2002, pp. 1-34.
- [6] Coinchon, M., Open Software radio, Cours Gull, 13/1/2009. [http://www.linux-gull.ch/rsrc/GULLServeurWWW/GestionActiviteDocumentCoursGNURadio20090113/gnuradio\\_gull\\_2.pdf](http://www.linux-gull.ch/rsrc/GULLServeurWWW/GestionActiviteDocumentCoursGNURadio20090113/gnuradio_gull_2.pdf)
- [7] Ettus Research. (2011, Nov). Ettus research order page. [Online]. 2012(01/avrile), pp. 1. Available: <https://www.ettus.com/product> .
- [8] Dobbins, R., Garcia, S., Shaw, B., Software Defined Radio Localization Using 802.11-style communications, US Naval Research Laboratory Report, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, USA, April 2011, pp. 1-37.
- [9] Withers, N., A Pulsed Doppler-Effect Radar Wind Profiler Transceiver Using GNU Radio and the Universal Software Radio Peripheral, Thesis submitted in part fulfilment of the degree of Bachelor of Engineering, Australian National University, September 2009.



- [10] Piper, S.O., Receiver Frequency Resolution for Range Resolution in Homodyne FMCW Radar, Proceedings, 1993 National Telesystems Conference, pp. 1-5.
- [11] Chang, K.W., G.S. Dow, H. Wang, T.H. Chen, K. Tan, B. Allen, and J. Berenz. A W-Band Single-Chip Transceiver for FMCW Radar, IEEE MTT Digest, 1993.
- [12] Stefanut, P., Application des algorithmes de haute résolution à la localisation de mobiles en milieu confiné, Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, Juin 2010, pp. 13-44.
- [13] Honore, A. A., Implementation of Collaborative RF Localization Using a Software-Defined Radio Network, Thesis, Department of the air force, Air university, United States Air, Mars 2009, pp. 1-48.
- [14] DEBAN, R., Analyse et développement de radar à diversité spatiale : applications à l'évitement de collisions de véhicules et au positionnement local, Thèse de Doctorat Université de Montréal, Montréal, Canada, Avril 2010, pp. 1-24.
- [15] Barker, R., <http://www.ui-view.org>
- [16] Hildebrand, B., <http://www.tapr.org/~kh2z/aprsplus/>
- [17] Mishra, S. M., Sahai, A., and Brodersen, R. W., Cooperative Sensing among Cognitive Radios, IEEE International Conference, vol. 4, 2006, pp. 1658-1663.
- [18] Chioukh. L., Système Médical Intégré de Radar Pour la Surveillance De Précision des Battements Cardiaques et du Statut Respiratoire, Mémoire Maîtrise, École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada, Octobre 2009, pp. 33-50.
- [19] Nerguizian, C., Despins, C. and Affès, S., Geolocation in Mines with an Impulse Response Fingerprinting Technique and Neural Networks, IEEE Vehicular Technology Conference VTC2004fall, Los Angeles, USA, September 2004
- [20] Cooper, J., A 50 MHz FMCW radar for the study of E-region coherent backscatter, Master of Science, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, May 2006, pp. 1-45.

[21] Bruninga, B., A General Overview of the APRS System - TCARC, Updated Jan 2006.  
<http://tcarc-ny.org/APRS/APRS.pdf>

[22] Ronan, J., An Introduction to APRS, July 2005  
<http://www.ei7ig.org/files/IntroToAPRS.pdf>

[23] Automatic Packet Reporting System <http://www.qsl.net/w9aml/APRS.pdf>

[24] The APRS Working Group: APRS Protocol Reference Protocol Version 1.0.1, United States of America, Août 2000 <ftp://ftp.tapr.org/aprssig/aprsspec/spec/aprs101/APRS101.pdf>

[25] À PROPOS D'APRS [http://www.cb-service.com/images/KENWOOD/accesoiress/Pg-4W%20\(French\).pdf](http://www.cb-service.com/images/KENWOOD/accesoiress/Pg-4W%20(French).pdf)

[26] France APRS :  
<http://www.franceaprs.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=7>

[27] APRS Frequency by Stat. <http://dididahdahdidit.com/aprsfrqt.php>

[28] G4ILO's Shack <http://www.g4ilo.com/aprs.html>

[29] Wade, G3NRW, W. "UK APRS Net WP Version 1.0", United States of America, 13 July 1999. <http://vk3.aprs.net.au/ukaprswp.pdf>

[30] Mode d'emploi KENWOOD TM-D710 A.  
<http://manual.kenwood.com/files/4dd5ccee3d887.pdf>

[31] Micro-Trak All-In-One APRS Transmitter Hardware version 3.2  
<http://www.byonics.com/microtrak/mtaio.php>

[32] Byonics TinyTrak3Config Software Manual version 1.4e <http://www.byonics.com>