

ASHMAWY Loay
MARTOCQ Caroline
5 ISS B



Démodulation analogique de signaux sous GNURadio



Sommaire

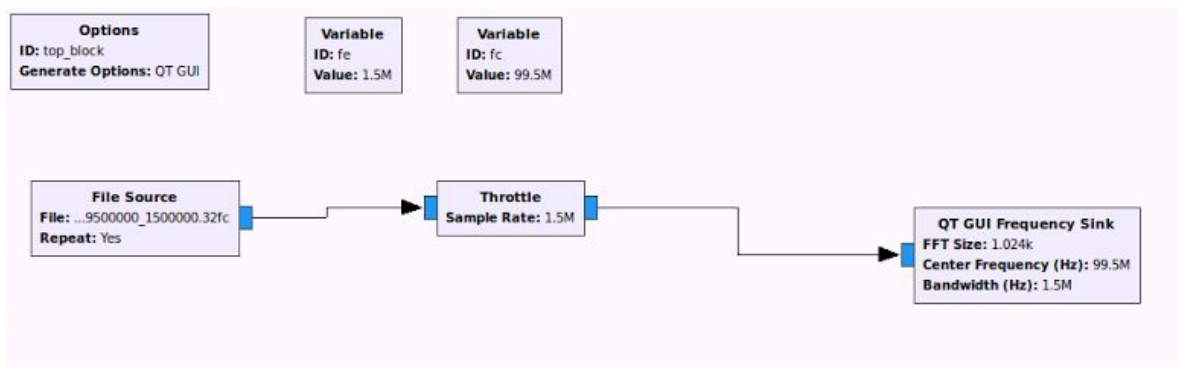
Introduction	2
I. Réception du signal	2
II. Centrer le signal autour de la fréquence nulle	3
III. Filtrage du signal	5
IV. Signal audio	6
V. Démodulation en temps réel	9
Conclusion	10

Introduction

L'objectif de ce TP était de nous introduire aux techniques de réception de signal radio et aux techniques de démodulation et d'extraction d'un son à partir de ce signal. Ce TP était divisé en 2 parties, une partie théorique et une partie pratique. Dans ce qui suit nous mettons en relation les deux parties.

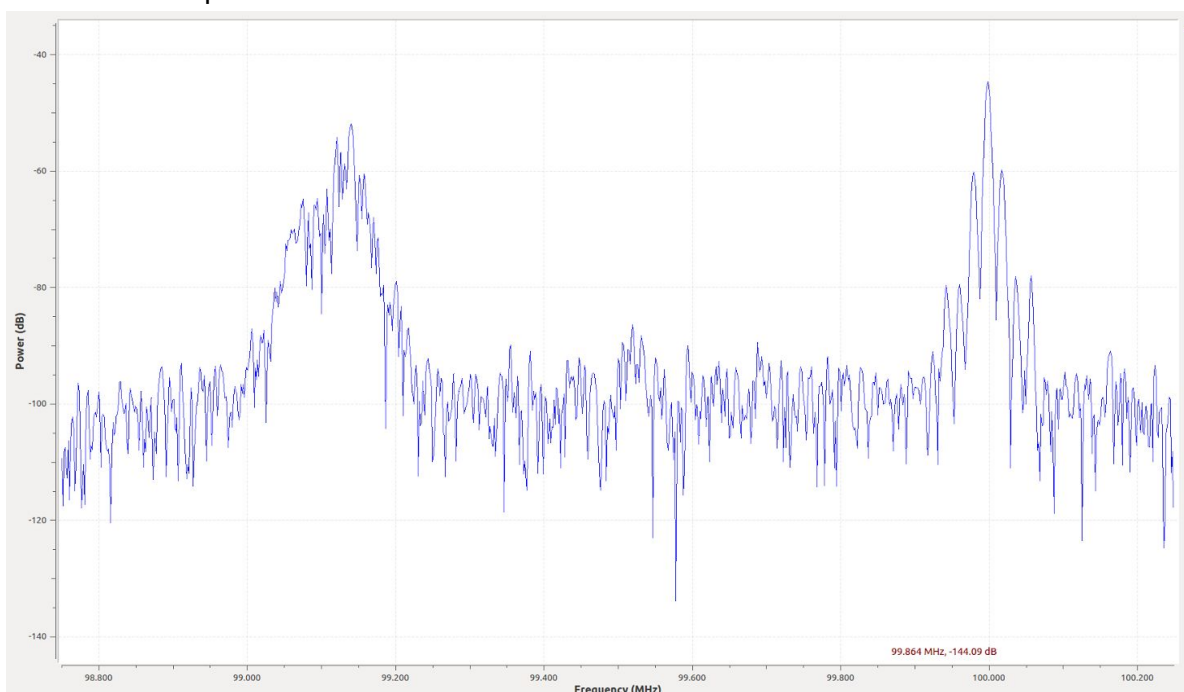
I. Réception du signal

Nous disposons d'un fichier contenant le signal reçu. Afin de visualiser ce signal nous réalisons le montage ci-dessous.



Le bloc "File Source" permet de récupérer l'échantillon du signal reçu. Nous appliquons ensuite un bloc "Throttle" afin de limiter le débit de données à la fréquence d'échantillonnage spécifiée. Ceci empêche GNURadio de consommer toutes les ressources de CPU quand le système n'est pas régulé par le matériel externe(USRP par exemple). Finalement, nous affichons la FFT du signal centré en 99.5MHz avec le bloc "QT GUI Frequency Sink".

Voici le résultat obtenu par cette chaîne:



On remarque deux canaux à 99.1 MHz et 100 MHz, de largeur 200 kHz. Sur Toulouse, ces deux fréquences correspondent respectivement aux radios RFM et Skyrock.

Le but sera d'isoler chaque canal afin de récupérer le signal utile et écouter la bande audio. Pour cela, nous procéderons en deux étapes. La première est de centrer le signal autour de la fréquence nulle et la seconde consiste à filtrer le signal afin d'obtenir la charge utile uniquement.

II. Centrer le signal autour de la fréquence nulle

Afin de centrer le signal nous établissons le schéma suivant:

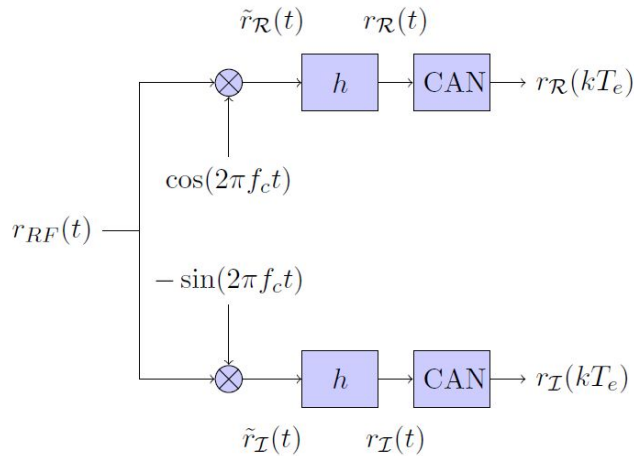


schéma a

Le récepteur USRP dispose de deux étages : le premier permet la transposition des signaux autour de la fréquence nulle, le second réalise une conversion analogique/numérique.

Nous pouvons intervertir ces deux étages mais ce qui nous amène à faire le choix de cette disposition est la fréquence reçue et la capacité du CAN à réaliser l'échantillonnage. En effet pour des fréquences élevées le CAN n'arrivera plus à suivre et nous perdrons le signal.

Nous recevons le signal suivant:

$$r_{RF}(t) = r_R \cos(2\pi f_0 t) - r_I(t) \sin(2\pi f_0 t)$$

Afin de le centrer nous effectuons les opérations du schéma précédent. Nous obtenons donc:

$$\check{r}_R(t) = [r_R(t) \cos(2\pi f_0 t) - r_I(t) \sin(2\pi f_0 t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$\check{r}_R(t) = \frac{r_R(t)}{2} [\cos(2\pi t(f_0 - f_c)) + \cos(2\pi t(f_0 + f_c))] - \frac{r_I(t)}{2} [\sin(2\pi t(f_0 - f_c)) + \sin(2\pi t(f_0 + f_c))]$$

$$\check{r}_I(t) = [r_R(t) \cos(2\pi f_0 t) - r_I(t) \sin(2\pi f_0 t)] (-\sin(2\pi f_c t))$$

$$\check{r}_I(t) = \frac{r_R(t)}{2} [\cos(2\pi t(f_0 - f_c)) - \cos(2\pi t(f_0 + f_c))] - \frac{r_I(t)}{2} [\sin(2\pi t(f_0 - f_c)) + \sin(2\pi t(f_0 + f_c))]$$

Afin de centrer le signal nous prenons $f_c = f_0$. Pour $\check{r}_R(t)$ nous obtenons:

$$\check{r}_R(t) = \frac{r_R(t)}{2} [1 + \cos(4\pi t f_0)] - \frac{r_I(t)}{2} [\sin(4\pi t f_0)]$$

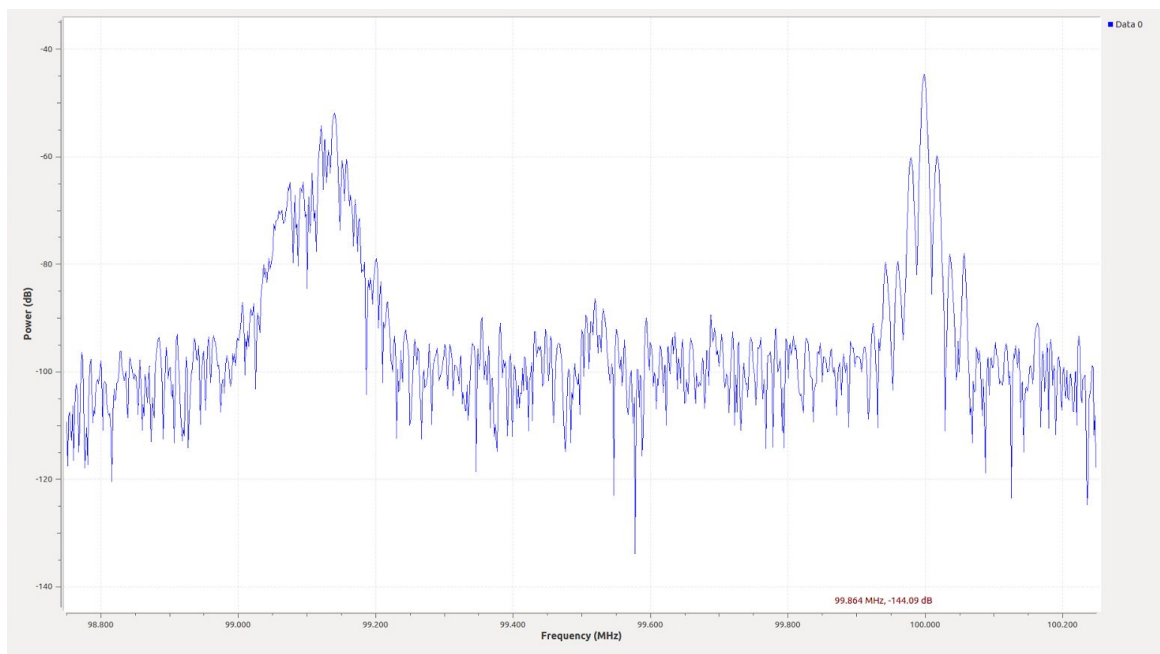
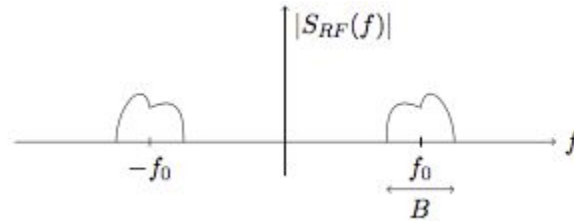
Pour mieux visualiser cette équation nous l'écrivons dans le domaine fréquentiel, nous effectuons donc une FFT:

$$\check{R}_R(f) = \frac{R_R(f)}{2} * [\delta(f) + \frac{1}{2}[\delta(f-2f_0) + \delta(f+2f_0)]] - \frac{R_R(f)}{4j} * [\delta(f-2f_0) + \delta(f+2f_0)]$$

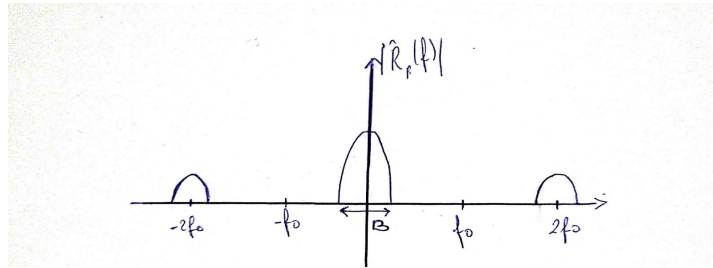
$$\check{R}_R(f) = \frac{R_R(f)}{2} + \frac{1}{4}[R_R(f-2f_0) + R_R(f+2f_0) - \frac{S_R(f-2f_0)}{j} + \frac{S_R(f+2f_0)}{j}]$$

Suite à cela notre signal sera centré autour de la fréquence nulle.

Signal de base:



Signal transposé autour de la fréquence nulle:



Il faut noter que cette technique fonctionne uniquement avec des signaux à bande étroite. Si on utilise la même technique pour les signaux à large bande nous aurions un chevauchement des signaux et donc un signal difficile à décoder.

Maintenant nous passons à l'étape suivante, le filtrage du signal.

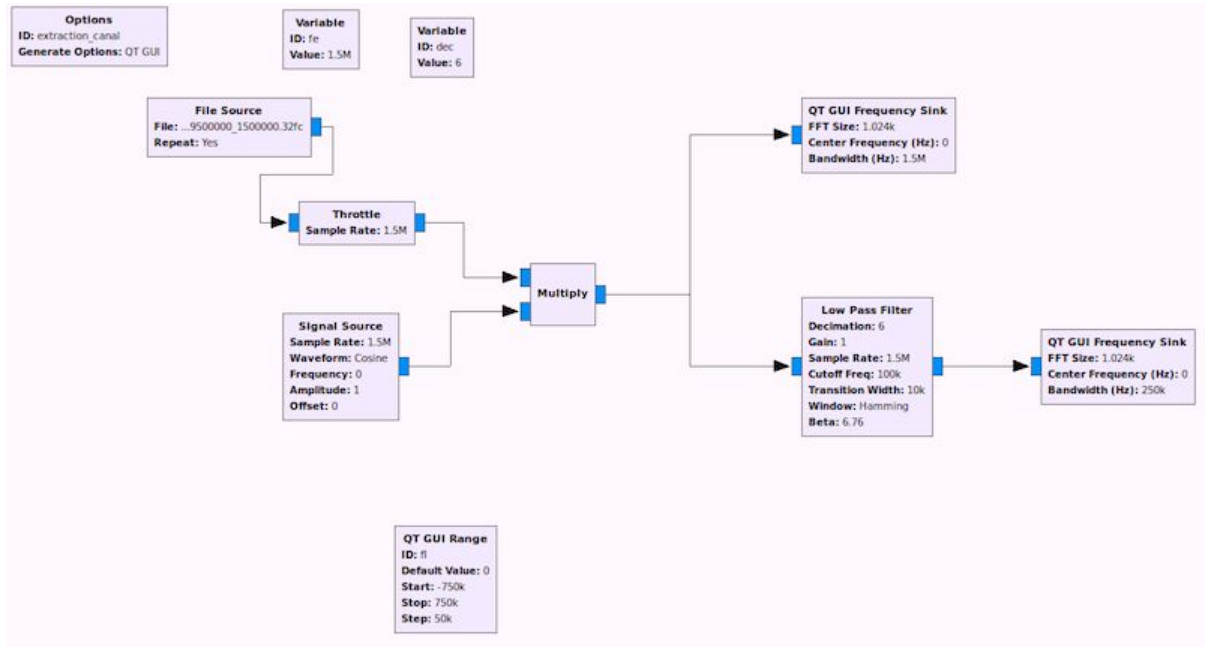
III. Filtrage du signal

Afin de récupérer le signal qui porte l'information et qui est centré autour du zéro nous utilisons un filtre passe-bas de fréquence de coupure $B/2$ afin d'éliminer le signal à la fréquence $2f_0$.

Nous obtenons donc le signal qui nous intéresse:



En résumé, voici comment ces deux étapes ont été réalisées sur GNURadio:



IV. Signal audio

Une fois le signal récupéré nous procédons à la démodulation. Le signal à transmettre se compose de deux voies stéréophoniques $g(t) \in \mathbb{R}$ et $d(t) \in \mathbb{R}$; elles sont centrées en fréquence et de fréquence maximale 15 kHz (ou bande monolatérale). Pour assurer la compatibilité entre les récepteurs monophoniques et stéréophoniques, ces deux voies sont multiplexées pour former le message :

$$m(t) = g(t) + d(t) + A_{sp} \cos(2\pi f_{sp} t) + [g(t) - d(t)] \cos(2\pi 2f_{sp} t)$$

qui se traduit par la figure suivante :

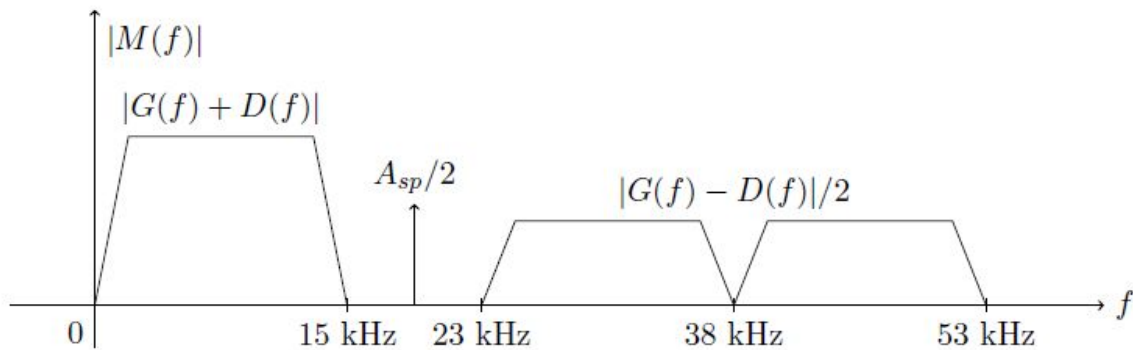


schéma b

Le signal reçu peut s'écrire en fonction du message sous la forme suivante :

$$s_{RF}(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \frac{\Delta f}{\max(|m(t)|)} \int_{-\infty}^t m(u) du)$$

Ou encore :

$$s_{RF}(t) = A \cos(2\pi f_0 t + k_f(t)\phi(t)) \text{ avec } \phi(t) = \int_{-\infty}^t m(u) du \text{ et } k_f(t) = \frac{\Delta f}{\max(|m(t)|)}$$

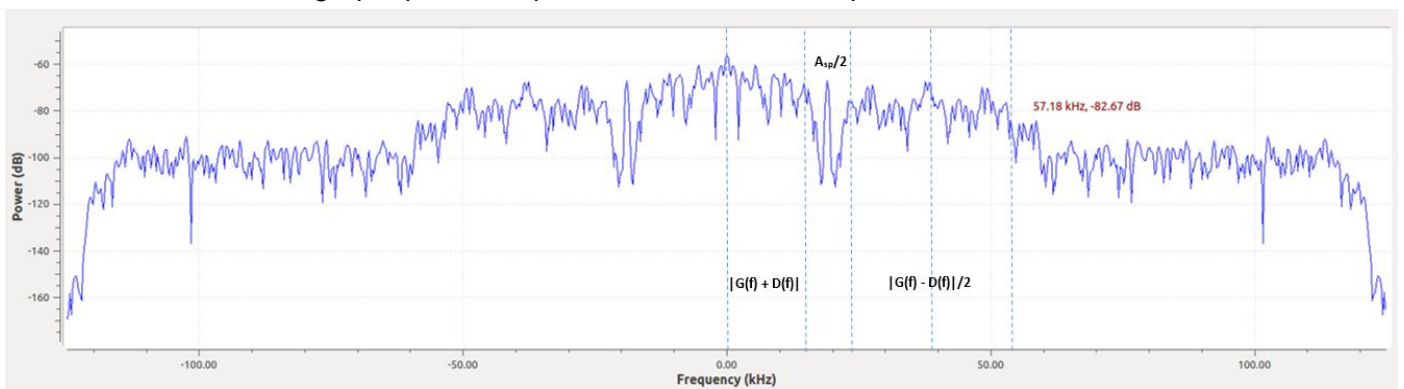
Après discrétisation et en passant dans le domaine complexe on peut montrer que la démodulation de fréquence peut être réalisée numériquement de la façon suivante:

$$\tilde{m}_l[k] = \arg(y_l[k]y_l^*[k-1])$$

ou encore:

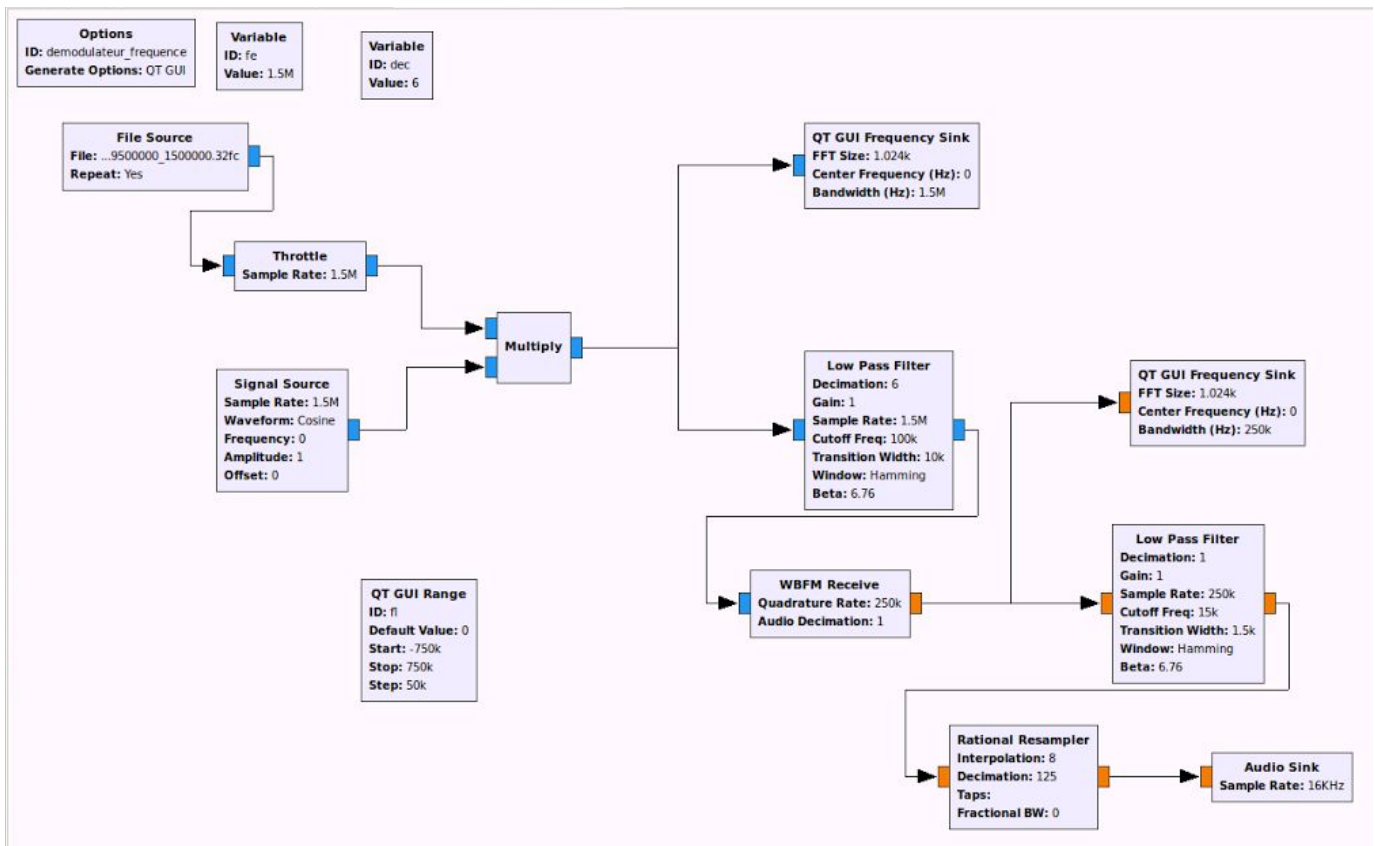
$$m_l[k] = k_f m[k] = \frac{\Delta f T_e}{\max(|m(k)|)} m[k]$$

Pour réaliser ce processus sous GNURadio nous utilisons le bloc WBFM Receive pour démoduler le signal. Nous obtenons ainsi ce graphique sur lequel nous retrouvons les parties décrites sur le schéma b:



Nous appliquons enfin un filtre passe-bas de fréquence de coupure 15 kHz à notre système pour récupérer le signal $|G(f)+D(f)|$ que nous envoyons enfin vers le bloc rational resampler qui prépare le signal pour qu'on puisse l'envoyer vers la carte son à l'aide du bloc audio sink.

Voici un schéma récapitulatif de tout le processus:



V. Démodulation en temps réel

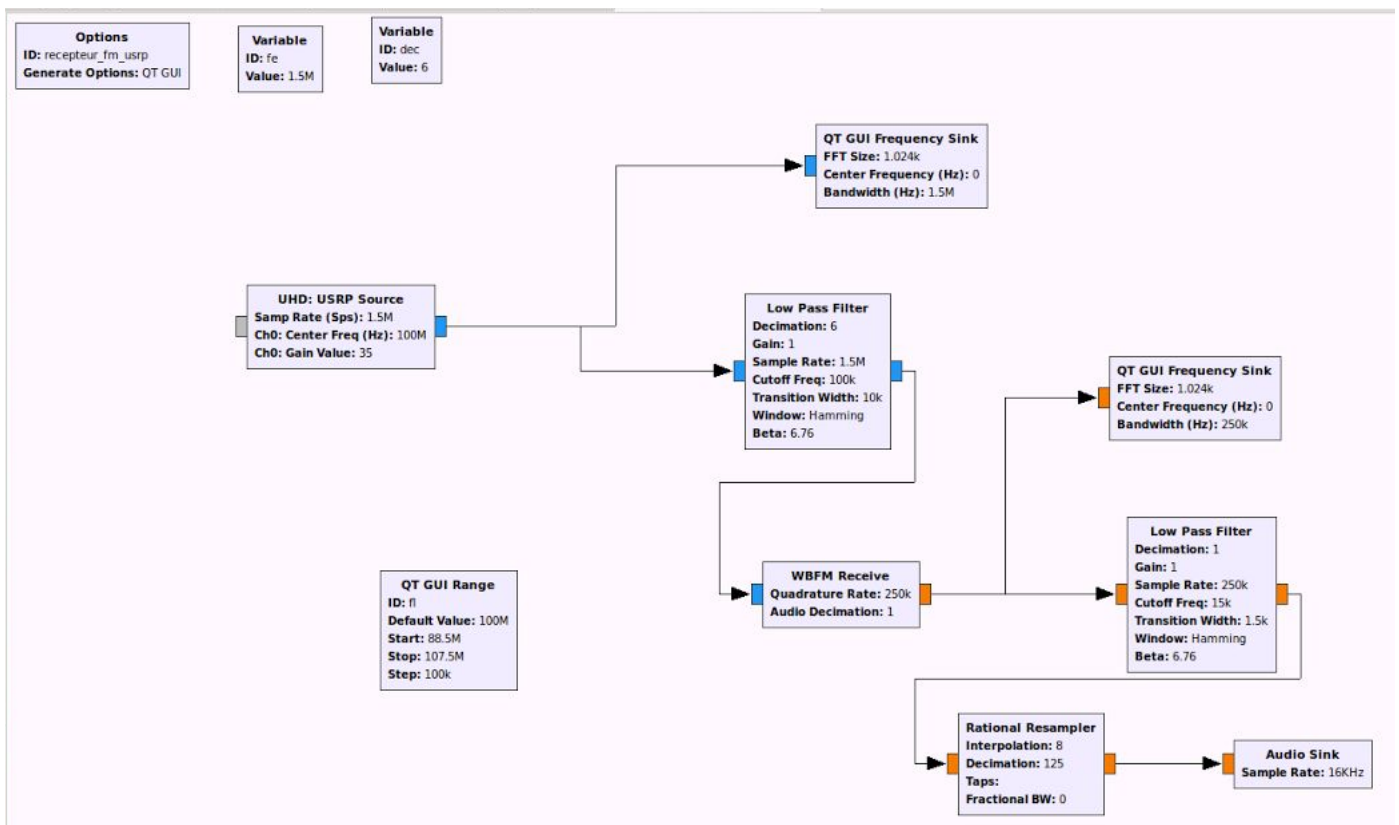
Nous remplaçons l'enregistrement utilisé précédemment par un émetteur-récepteur de radiologique afin de recevoir le signal en temps réel.

Nous allons utiliser le même processus que nous avons utilisé pour l'étape précédente à quelques détails près.

Nous n'avons plus besoin du bloc throttle car désormais c'est notre émetteur-récepteur qui limite le débit de données à la fréquence d'échantillonnage spécifiée.

Nous n'avons plus besoin de l'étage mélangeur car ceci est effectué directement dans notre émetteur-récepteur.

Voici le schéma finale réalisé sur GNURadio:



Conclusion

A travers ces séances de TP, nous avons pu revoir les bases de traitement de signal. Nous avons pu aussi comprendre le fonctionnement des signaux radio et savoir en quoi consiste une démodulation des signaux radio. Nous nous sommes aussi familiarisés avec le logiciel GNURadio dédié à l'implémentation de radios logicielles et de systèmes de traitement du signal. Malheureusement nous n'avons pas eu le temps d'aborder la partie III qui est aussi importante que les deux premières parties car elle nous fait manipuler des signaux à bande latérale. Pour les années suivantes nous vous proposons donc de rajouter une séance de TP afin que les étudiants puissent aborder cette partie. Enfin félicitation à Jordy qui repart avec l'album de Sam Smith !