

# TP de télécommunications spatiales

## Transmission de signaux en Modulation de fréquence (FM)

### 1- Introduction

L'objectif de ce TP est d'étudier et de mettre en œuvre une transmission de signaux modulés en fréquence (FM). Ce procédé de modulation est très utilisé dans les télécommunications par satellite.

### 2- Rappel du principe de la modulation de fréquence (FM)

La modulation consiste à modifier l'un des paramètres d'une onde porteuse (généralement une onde sinusoïdale) pour lui faire transporter des informations telles qu'un son, une image ou des données numériques. Dans le procédé de modulation de fréquence, le modulateur fait varier la fréquence de la porteuse en fonction du signal à transmettre.

### 3- Description du matériel utilisé

Lors de ce TP, nous utiliserons un boîtier réalisant les fonctions d'émission et de réception de signaux radiofréquences : un ADALM-PLUTO fabriqué par la société Analog Devices. L'ADALM-PLUTO est un dispositif utilisé dans les systèmes d'émission et de réception modernes dans lesquels la partie logicielle joue un rôle essentiel. En effet, les anciens postes d'émission et de réception radio étaient constitués de composants électroniques pour réaliser les différentes fonctions de traitement des signaux (amplification, modulation, démodulation, filtrage, transposition de fréquence, etc.). De nos jours, avec la puissance grandissante des processeurs, ces fonctions sont réalisées de manière logicielle et la partie matérielle se contente d'effectuer l'interfaçage entre le monde physique (les ondes radioélectriques) et le monde numérique (le ordinateur). Cette nouvelle approche, très flexible pour concevoir et réaliser des systèmes de télécommunication, s'appelle la SDR (Software Defined Radio) ou Radio Définie par Logiciel. Dans ce procédé, pour la réception, le matériel (ici l'ADALM-PLUTO) se contente d'échantillonner le spectre radioélectrique et de le transmettre par une liaison USB à un ordinateur (PC, Raspberry pi, etc.) qui se chargera de toutes les fonctions de traitement. En émission, l'ADALM-PLUTO procèdera à la modulation d'une onde porteuse avec les échantillons fournis par l'ordinateur et à son émission dans l'air.

L'ADALM-PLUTO possède deux connecteurs au format SMA (SubMiniature version A). L'un pour y connecter une antenne de réception et le second pour l'antenne d'émission. Selon la fréquence de travail, il conviendra d'y connecter des antennes adaptées.

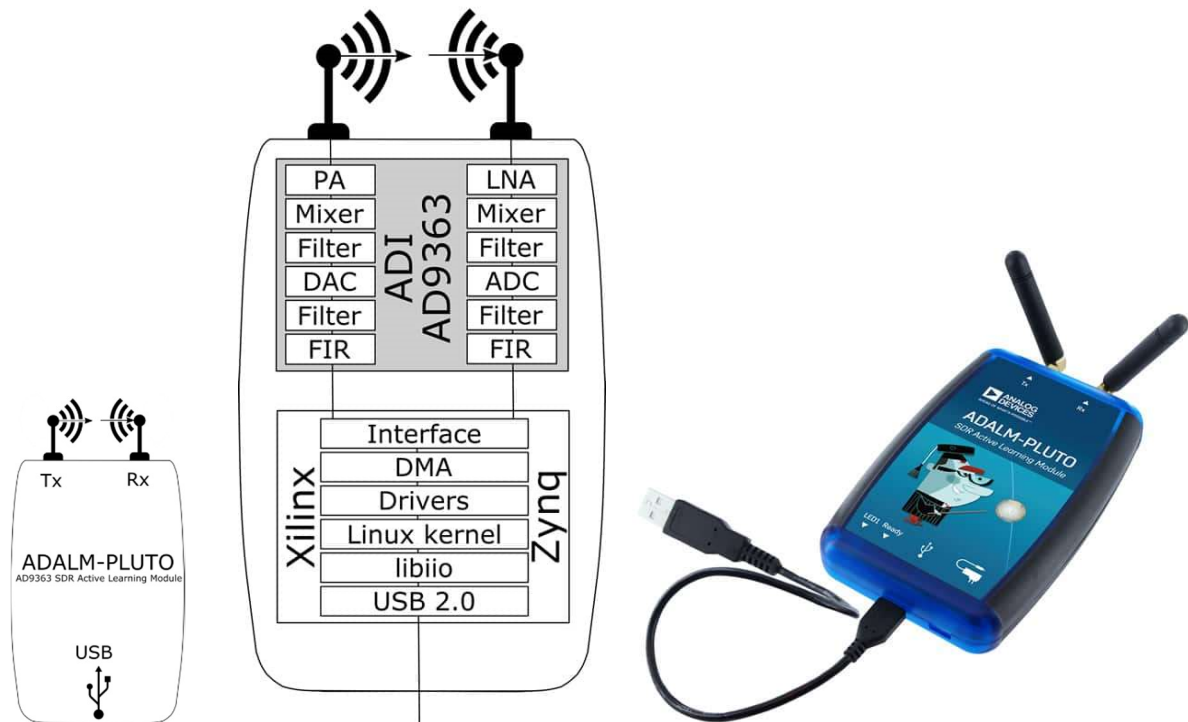


Figure 1 : connexions de l'ADALM-PLUTO, sa constitution interne et son aspect extérieur.

Les caractéristiques principales de l'ADALM-PLUTO sont résumées ci-dessous :

Couverture RF de 325 MHz à 3,8 GHz (peut être modifiée par logiciel pour couvrir de 70 Mhz à 6 GHz)

Puissance émission maximum : 7dBm (5mW)

CNA et CAN 12 bits, débit flexible

Fréquence d'échantillonnage : de 65.1 kSPS à 61.44 MSPS (utiliser 4 à 5 MSPS max sur USB 2.0)

Bande passante instantanée (I/Q complexe) De 200 KHz à 20 MHz

Réglage du gain en réception : 0 à +74.5 dB (800 MHz)

Un émetteur et un récepteur (connecteur SMA femelle, 50  $\Omega$ )

Les antennes fournies couvrent les bandes 824-894 MHz et 1710-2170 MHz

Semi-duplex ou duplex intégral

Prise en charge de Simulink, MATLAB, GnuRadio etc.

Blocs sources et récepteurs GNURadio

Libiio, API Python, C, C++ et C#

Interface USB 2.0

Alimentation par USB

La partie logicielle sera réalisée à l'aide du logiciel de traitement des signaux GNURadio que vous avez déjà eu l'occasion d'utiliser.

Afin de réaliser ce TP, nous utiliserons une machine virtuelle (VM) qui vous sera fournie lors du TP et qui inclura le logiciel GNURadio ainsi que tous les drivers requis pour l'interfaçage avec l'ADALM-PLUTO.

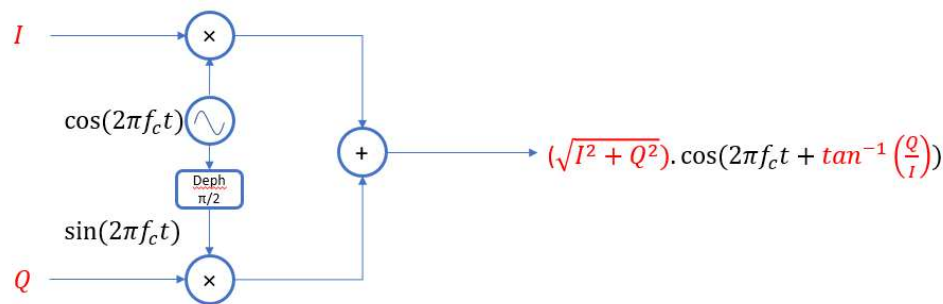
#### 4- Expérimentations

Dans cette partie, nous allons effectuer les premières expérimentations visant à mettre en place toute la chaîne matérielle et logicielle requise pour pouvoir transmettre des signaux.

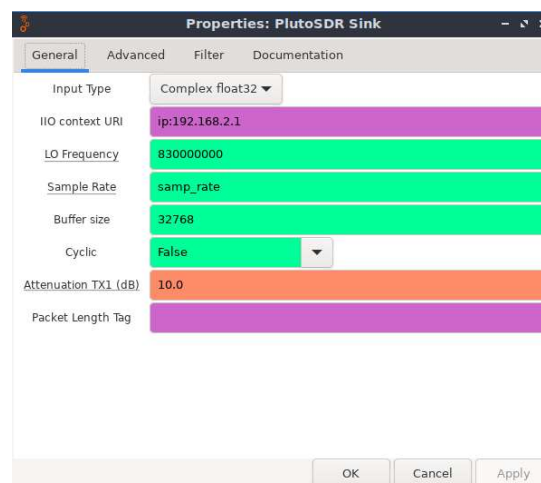
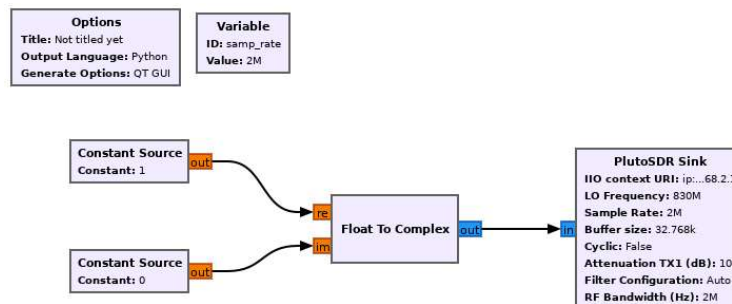
1 - Installer la VM fournie sous VirtualBox

2- connecter l' ADALM-PLUTO sur l'un des ports USB de l'ordinateur et le capturer dans votre VM (menu « Périphériques / USB / Analog Devices inc. PlutoSDR (ADALM-PLUTO) »).

3 - Les dispositifs SDR utilisent une technique de modulation appelée modulation en quadrature ou modulation IQ (In-phase – Quadrature) qui permet de réaliser toutes les techniques de modulation habituelles AM, FM, PM ainsi que des combinaisons de ces dernières. Le principe général d'une telle modulation est représenté sur la figure ci-dessous.  $f_c$  représente la fréquence de la porteuse.



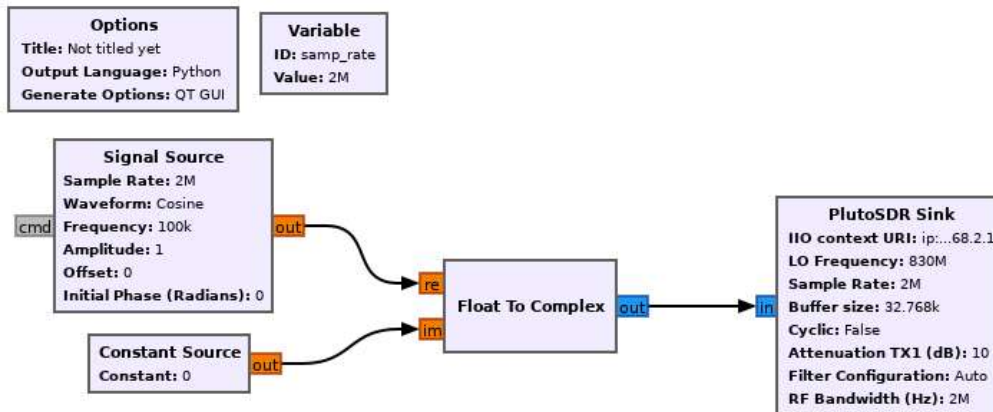
Réaliser un diagramme de flux conformément à la figure ci-dessous et configurer le bloc « PlutoSDR Sink » comme indiqué.



Que fait ce diagramme ? Que doit-il émettre ?

4 – Exécuter ce diagramme et vérifier à l'aide d'un analyseur de spectre que le résultat est conforme à vos attentes.

5 - Réaliser le diagramme représenté ci-dessous et expliquer son fonctionnement.

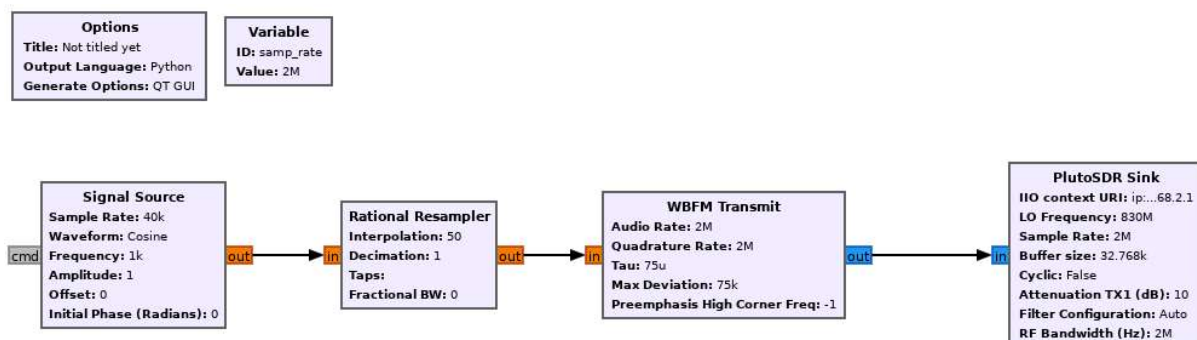


6 - Exécutez ce diagramme et vérifiez à l'aide d'un analyseur de spectre que le signal émis est conforme à vos prédictions.

### 5- Transmission de signaux en modulation de fréquence (FM)

La production de signaux modulés en fréquence ne peut se faire à l'aide de l'entrée I seule. En effet, l'utilisation de cette seule entrée permet d'agir uniquement sur l'amplitude du signal. Il est alors nécessaire de générer des signaux sur les deux entrées I et Q pour pouvoir moduler en fréquence l'onde porteuse. Le calcul mathématique des formes des signaux I et Q pour produire un signal FM sort du cadre de ce TP. Ici, nous utiliserons un bloc existant dans GNURadio appelé « WBFM transmit » pour Wide Band Frequency Modulation transmitter qui se chargera de générer les signaux I et Q adéquats à partir d'un signal d'entrée. WBFM correspond aux caractéristiques d'une modulation de fréquence utilisée dans la radiodiffusion FM (bande FM 87,5 MHz – 108 MHz notamment) pour une très bonne qualité audio mais une occupation de spectre large (canal large). Il existe un autre procédé de modulation FM appelé NBFM pour Narrow Band Frequency Modulation, utilisé pour les talkies-walkies et autres systèmes de transmission. Ce procédé occupe un canal étroit mais au détriment de la qualité du son ou du signal transmis.

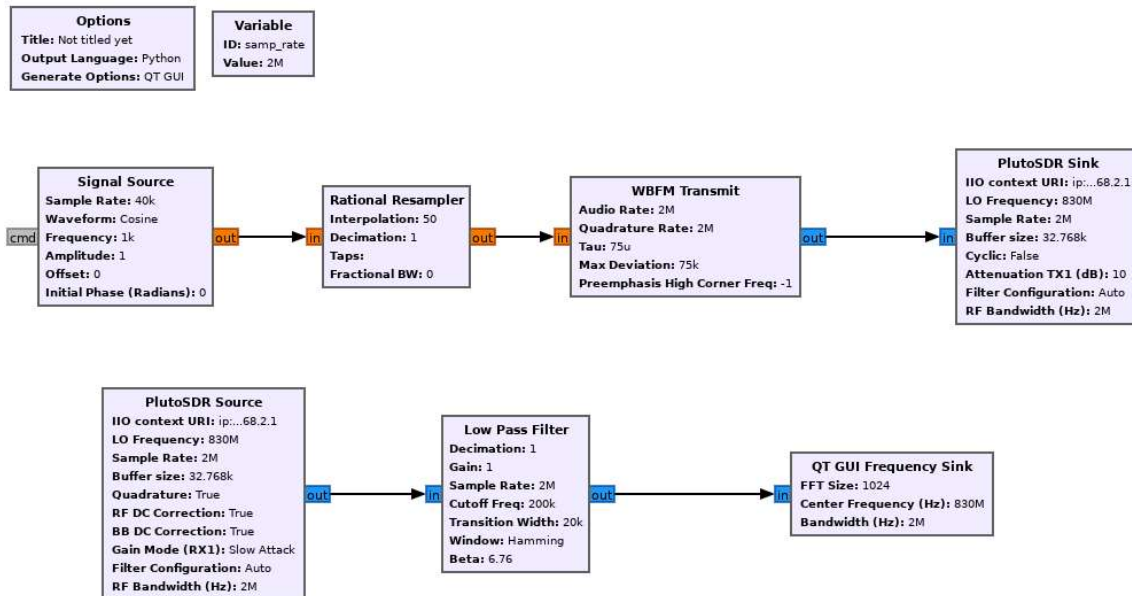
7 – Réaliser le diagramme ci-dessous et expliquer son fonctionnement et le rôle de chaque bloc.



8 - Exécuter ce diagramme et vérifier son fonctionnement à l'aide d'un analyseur de spectre. Indiquer ce qu'émet ce diagramme.

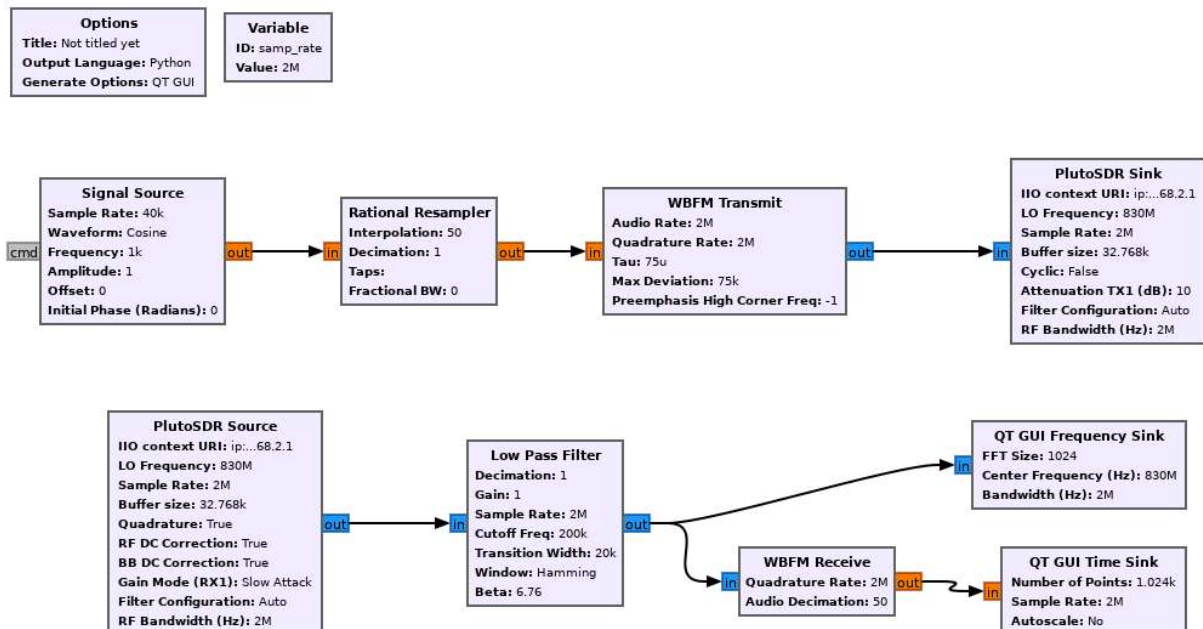
Vous venez de réaliser un véritable émetteur FM ! Dans la suite, nous allons tenter de recevoir le signal émis à l'aide de votre ADALM-PLUTO. En effet, comme vu précédemment, votre dispositif contient un émetteur et un récepteur. Pour cette partie, vous pouvez soit équiper chaque connecteur d'une antenne, soit relier l'entrée et la sortie par le câble SMA fourni.

9 – réaliser le diagramme ci-dessous et expliquer son fonctionnement.



10 - Vérifier que le spectre de sortie est conforme à vos attentes.

11 - Compléter le diagramme en y ajoutant un démodulateur FM ainsi qu'un oscilloscope conformément au diagramme ci-dessous.



12 - Vérifier sur l'oscilloscope que vous observez bien le signal d'origine émis.

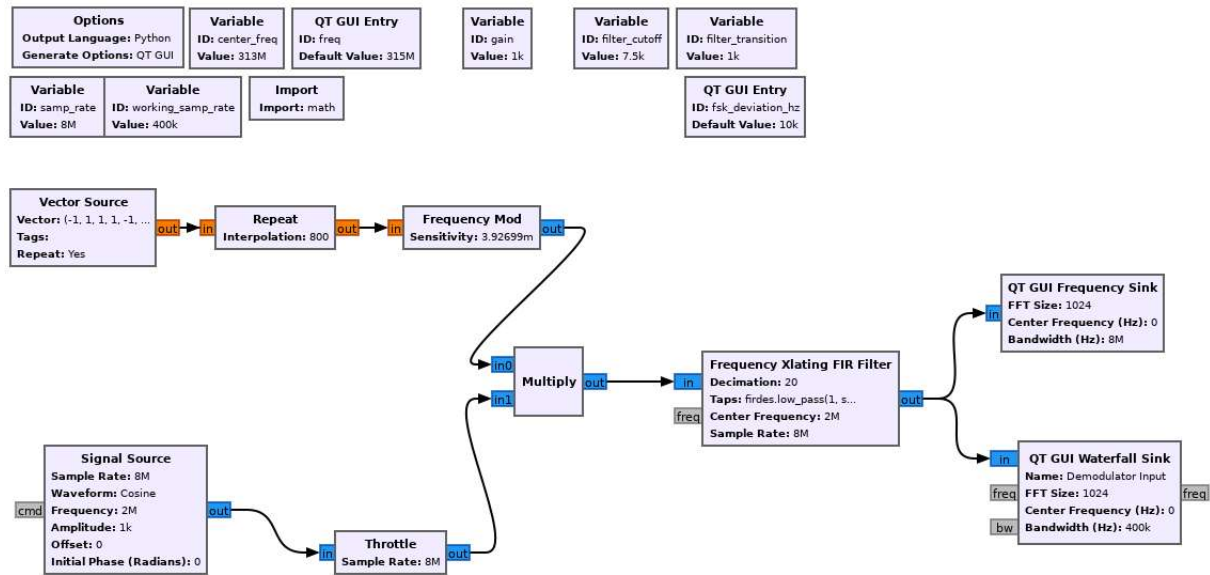
13 - Modifier la forme du signal émis dans le bloc « Signal source » pour tester un signal triangulaire, carré, etc. et observer le signal reçu.

14 - Adressez-vous à présent à l'un ou l'une de vos collègues pour que l'émetteur soit réalisé par l'un et le récepteur par l'autre. Attention à choisir la même fréquence de la porteuse. Réaliser une transmission entre deux ordinateurs équipés chacun par un ADALM-PLUTO. Décrire les résultats obtenus.

Modulation numérique FSK

15 - Expliquer le principe de la modulation numérique FSK (Frequency Shift Keying)

16 - Observer le diagramme ci-dessous et expliquer son fonctionnement.



17 - Si le temps le permet, mettre en place une émission de données numériques en modulation FSK. Pour cela, modifier le diagramme précédent pour transmettre un signal à l'aide de l'ADALM-PLUTO. Vérifier le résultat à l'aide d'un analyseur de spectre.

## 6- Conclusion et rédaction d'un rapport

Conclure sur les différentes tâches réalisées lors de ce TP et les résultats obtenus.

Rédiger un rapport rassemblant les différentes informations relatives à ce TP.

Pensez à alimenter votre Portfolio.