

Caractérisation radiofréquence d'un récepteur de radio logicielle

J.-M Friedt, 17 mars 2025

Questions sur ce TP :

1. Rappeler l'architecture d'un récepteur homodyne (zero-IF). Quelle architecture alternative est souvent utilisée dans les récepteurs basés sur un traitement matériel des signaux radiofréquences?
2. Quelle est la plage de fréquences accessible par le récepteur radio R820T? Peut-on écouter la radio FM avec ce récepteur? recevoir les signaux de la constellation de satellites GPS? le signal wifi émis par les ordinateurs communiquant sans fil?
3. Quelle gamme de fréquences d'échantillonnage est accessible par le convertisseur analogique-numérique RTL2832U? Quelle est la conséquence sur la bande passante des signaux analysables?
4. Quelle est la résolution du convertisseur analogique-numérique RTL2832U? Quelle est la conséquence sur la dynamique du signal analysable?
5. Compte tenu de la réponse précédente, citer une limitation majeure de l'approche logicielle du traitement de signaux radiofréquences.

1 Exactitude en fréquence

Observer le signal émis à 434 MHz. La fréquence d'échantillonnage minimum d'un récepteur DVB-T est de l'ordre de 1 Méchantillons/seconde. Comment zoomer l'axe des abscisses pour observer avec précision l'exactitude de l'oscillateur de référence?

Nous avons observé des écarts à la fréquence nominale allant jusqu'à ± 100 ppm : **quelle valeur obtenez vous?**

Quelle est la **conséquence** sur la réception d'un signal modulé en amplitude? en phase?

2 Exactitude de la puissance mesurée – sensibilité du récepteur

Nous cherchons à caractériser l'exactitude de la mesure de puissance en fonction du niveau du signal d'entrée et du gain de l'amplificateur radiofréquence situé en amont du détecteur I/Q.

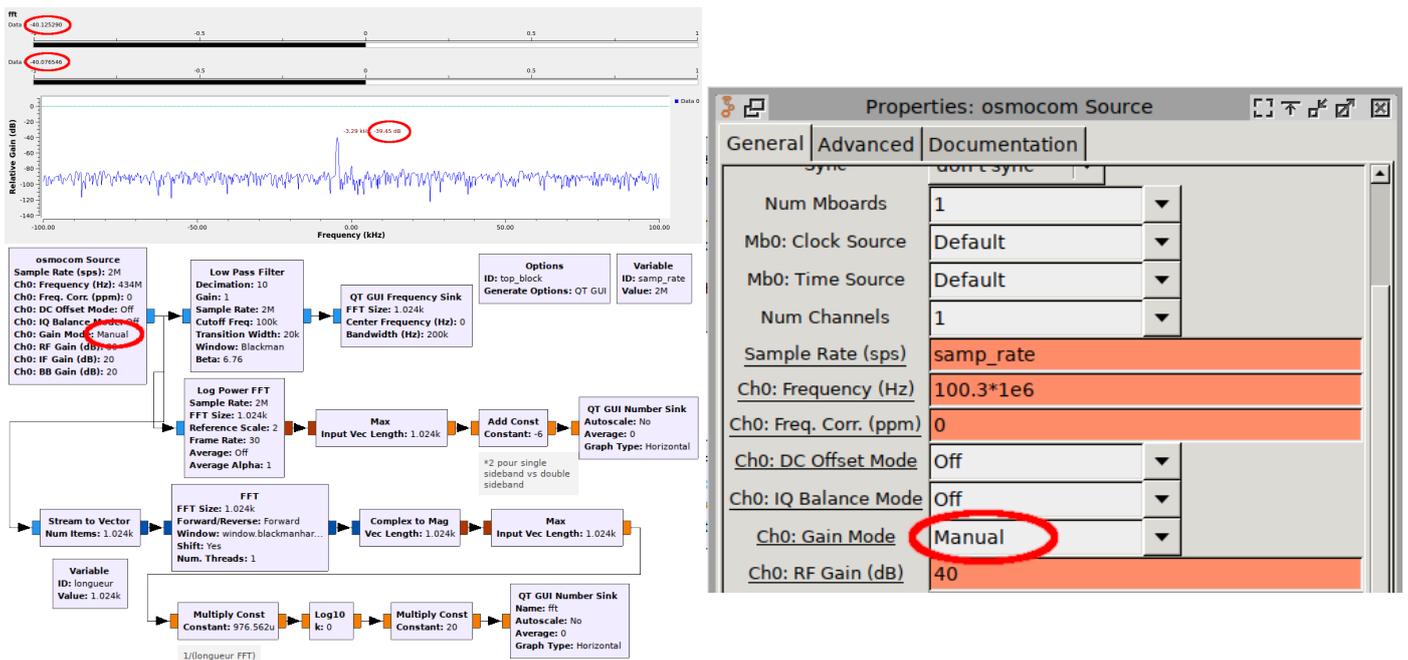


FIGURE 1 – Gauche : mesure de puissance de la porteuse, ici avec un schéma un peu amélioré pour fournir directement une mesure de la puissance du signal. Droite : bien penser à configurer le récepteur en gain “manuel” pour appliquer le gain proposé dans le champ RF Gain.

Toutes les mesures se font après **décimation d'un facteur 8** ou 16 du signal acquis à 2 Méchantillons/s. **Rappeler le rôle de la décimation dans cette mesure.**

— Conditions de mesure : RF=100,00 MHz, LO=100,00 MHz

— Gain=35 dB

Puissance émise Max $20 \log_{10}(FFT)$	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50
--------------------------------------------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

— Gain=25 dB

Puissance émise Max $20 \log_{10}(FFT)$	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50
--------------------------------------------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

— Gain=15 dB								
Puissance émise Max $20\log_{10}(FFT)$	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50
— Conditions de mesures : RF=1050,07 MHz, LO=1050,00 MHz (noter l'ajustement de RF pour rentrer dans la bande analysée)								
— Gain=35								
Puissance émise Max $20\log_{10}(FFT)$	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50
— Gain=25								
Puissance émise Max $20\log_{10}(FFT)$	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50
— Gain=15								
Puissance émise Max $20\log_{10}(FFT)$	-120	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50

3 Problème du convertisseur direct

Les progrès sur l'isolation des mélangeurs permettent d'appréhender aujourd'hui la transposition de fréquence de la bande radio à la bande de base par une conversion directe, dans laquelle un oscillateur local alimente un mélangeur avec une puissance suffisante pour le rendre non-linéaire. Le signal reçu provenant de l'antenne est mélangé avec ce signal de référence, amenant l'information proche de la fréquence nulle (bande de base).

Il reste cependant une fuite, même faible, de l'oscillateur local vers l'étage de réception qui, pas l'onde stationnaire ainsi formée, se retrouve toujours en sortie du mélangeur comme une composante DC ou basse fréquence (compte tenu du bruit de phase de l'oscillateur local) : il s'agit du *LO leakage*. Historiquement, ce problème était éliminé par l'architecture super-hétérodyne, dans laquelle une fréquence intermédiaire est utilisée, pour laquelle des filtres fins et sélectifs existent. Cette **étape intermédiaire de transposition de fréquence** permet de s'affranchir de la fuite de LO.

Nous pouvons **réaliser la même fonction par radio logicielle**, tant que la fréquence intermédiaire se trouve dans la bande passante de mesure. La fonction permettant de transposer en fréquence est le *Frequency Xlating FIR Filter*, qui se charge de multiplier le signal incident par un oscillateur local, d'appliquer le filtre passe bas et éventuellement de décimer. Dans ces conditions, nous décalons volontairement LO par rapport au signal recherché dans RF, nous appliquons un filtre passe bande qui rejette la fréquence nulle (composante DC) avant de ramener par transposition de fréquence le signal utile en bande de base.

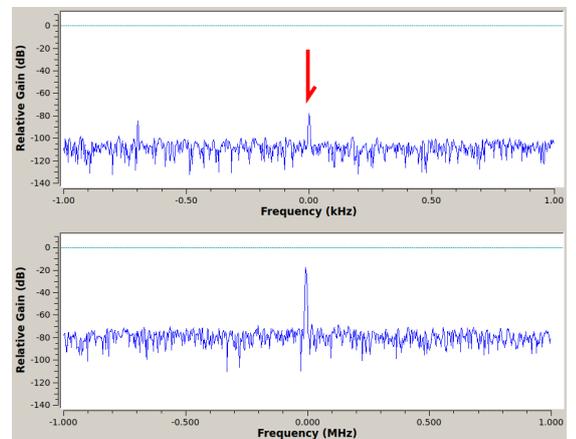


FIGURE 2: Fuite de l'oscillateur local dans l'étage de réception qui se traduit par une raie à la fréquence nulle (composante continue) dans la transformée de Fourier du signal.

4 Cas d'un signal modulé

Quelle est la plus petite puissance de porteuse qui permet d'extraire l'information modulée en amplitude ou en phase ?

FM : déviation 1 kHz, fréquence 400 Hz,
porteuse=100,00 MHz, f=100,00 MHz, gain=35 dB

P_{out} (dBm)	-70	-80	-90	-100	-110	-120
FM_{demod} (dB)						
plancher (dB)						

signal et plancher confondus à -120 dBm

AM : indice de modulation=50%, fréquence=1 kHz
porteuse=100,00 MHz, f=100,00 MHz, gain=35 dB

P_{out} (dBm)	-70	-80	-90	-100	-110	-120
AM_{demod} (dB)						
plancher (dB)						

5 Spécificité de la radio logicielle : décimation et filtrage

Une transformée de Fourier d'un signal échantillonné en temps discret à fréquence f_s s'étend de $-f_s/2$ à $+f_s/2$. Au cours du traitement, nous nous efforcerons de réduire petit à petit la bande passante du signal par traitements successifs (sélection d'une information unique dans la bande d'analyse après transposition, puis démodulation). Réduire la bande passante passe par la décimation : en ne prenant que 1 point sur N , la bande passante est réduite d'un facteur N , correspondant à une baisse de la fréquence d'échantillonnage de f_s à f_s/N . Cependant, par hypothèse de l'analyse de Fourier en temps discret, le spectre se répète : tout signal au-delà de f_s/N sera ramené, lors de la décimation, dans la bande de base par repliement spectral, introduisant des artefacts de traitement. Cet effet est évité en prenant soin d'appliquer un filtre passe bas *avant* la décimation : un filtre passe-bas de fréquence de coupure $f_s/2/N$ évitera le repliement de raies parasites. Attention cependant à définir un filtre avec une *largeur de transition* raisonnable : la résolution spectrale d'une transformée de Fourier sur P points est de f_s/P . Requérir une transition trop rapide implique P grand et donc un filtre contenant un nombre déraisonnable de coefficients.

Démontrer la mise en œuvre de la décimation en isolant une station FM en vue de démoduler son signal.