



Open Software radio

Mathias Coinchon

Cours Gull - 13/1/2009

Plan du cours

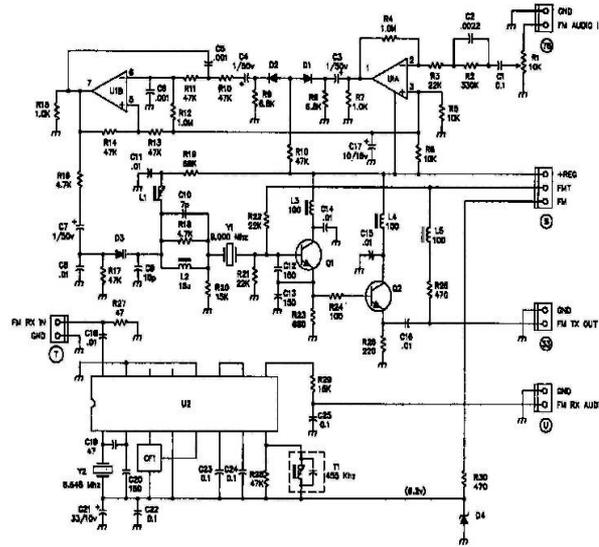
- **Introduction: Concept général**

- **Un peu de théorie...**
$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N}nk} \quad k = 0, \dots, N-1.$$

- **Applications**

Equipement radio traditionnel

- Circuit électronique dédié à un système, à une tâche spécifique. => Pas de possibilité simple d'évolution.



U1: 1A300M
U2: 1A300M
Q1-Q2: 6X4
D1-D2: 1N4148
D3: 1N2300
D4: 1N750A
Y1: 8.000 KHz
Y2: 8.545 KHz
CP1: CPU488Z

RECOMMENDED DIMENSIONS LAST USED
C2A, R2A, L2, D2, S2, U2
NOTE: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
1) CAPACITORS IN PICOFARADS (PF)
2) INDUCTORS IN MICROHENRYS (uH)
3) RESISTORS IN OHMS UNLESS 1/4W

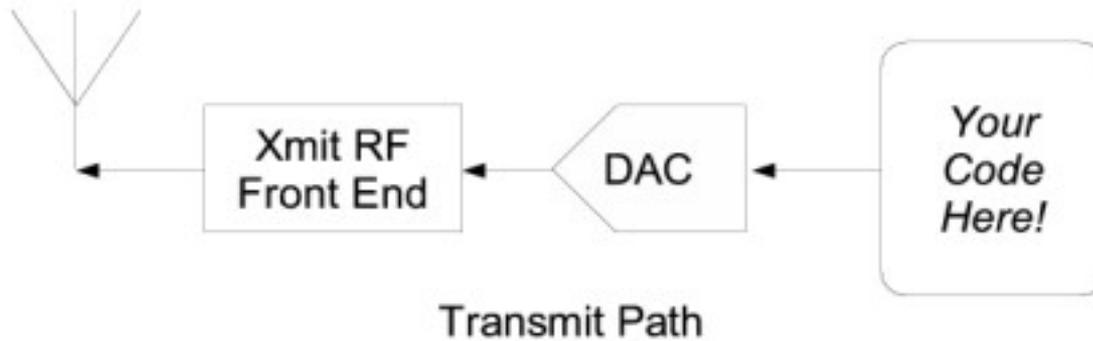
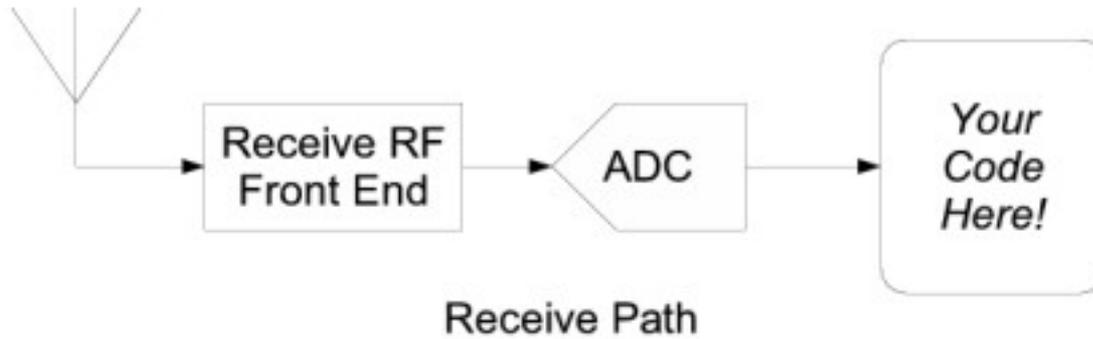
Output: 400 Mv PIP-13 Ohm load, 8.2 V P-P - Open
with 10 VDC on REG and FMT

Concept de radio logicielle (software radio)

- **Hardware générique pour numériser le signal radio (ou le produire)**
 - Equivalent à une carte son mais pour les ondes radio
- **Démodulation, décodage du signal de manière logicielle (software)**
 - Radio universelle, limitation par les performances du processeur



Software radio



Open software radio

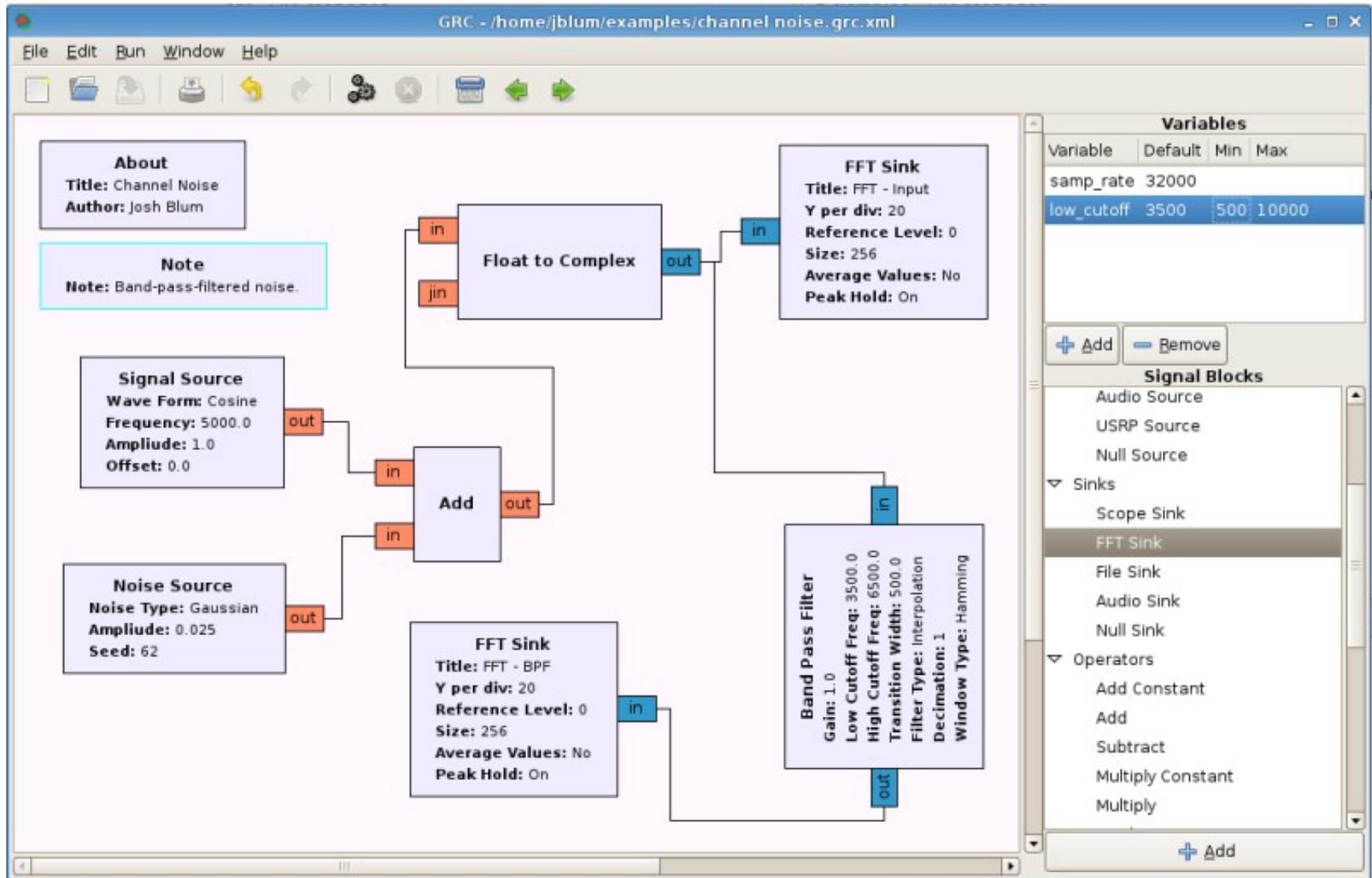
- **Gnuradio: composants logiciels ouverts de traitement de signaux en temps réel**
 - Ecrit en C++ et connectés en python
 - “Lego” de la radio
- **USRP: Universal Software Radio Peripheral**
 - Périphérique USB2 permettant d'émettre et de recevoir les signaux radios
 - Commercialisé par Ettus Research (~1000\$) mais hardware ouvert <http://www.ettus.com>



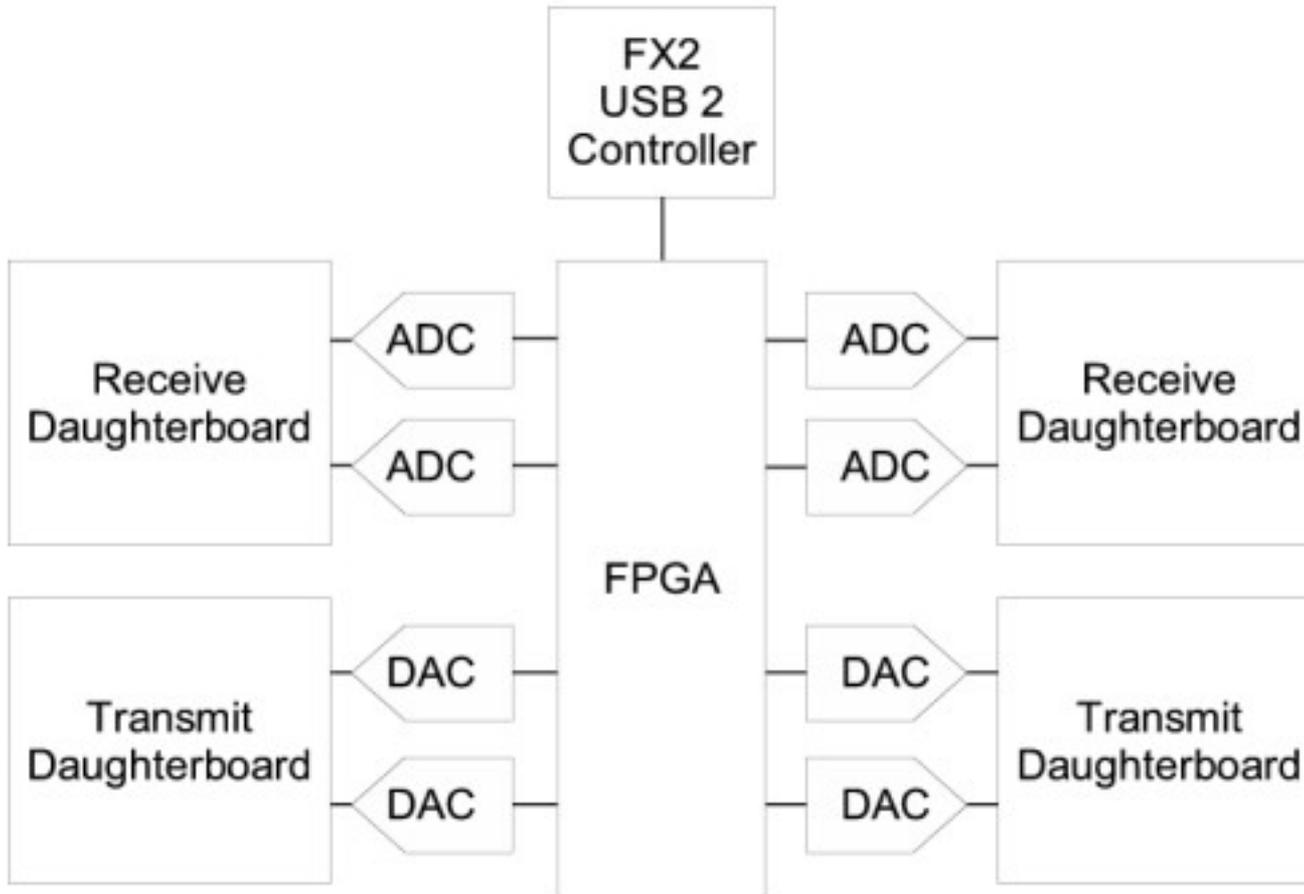
Gnuradio

- **Blocks fonctionnels en C++ (performance)**
- **Scripts en python pour construire les applications**
- **Entrée/Sortie: USRP, fichier, carte son, UDP, etc**
- **Quelques fonctions de traitement de signal gnuradio:**
 - **Modulations analogiques: AM, FM, PM**
 - **Modulations numériques: PSK, QAM, GMSK, OFDM,..**
 - **Mais aussi: Filtres, Resampling, FFT, Viterbi,...**

GRC: Gnuradio Companion



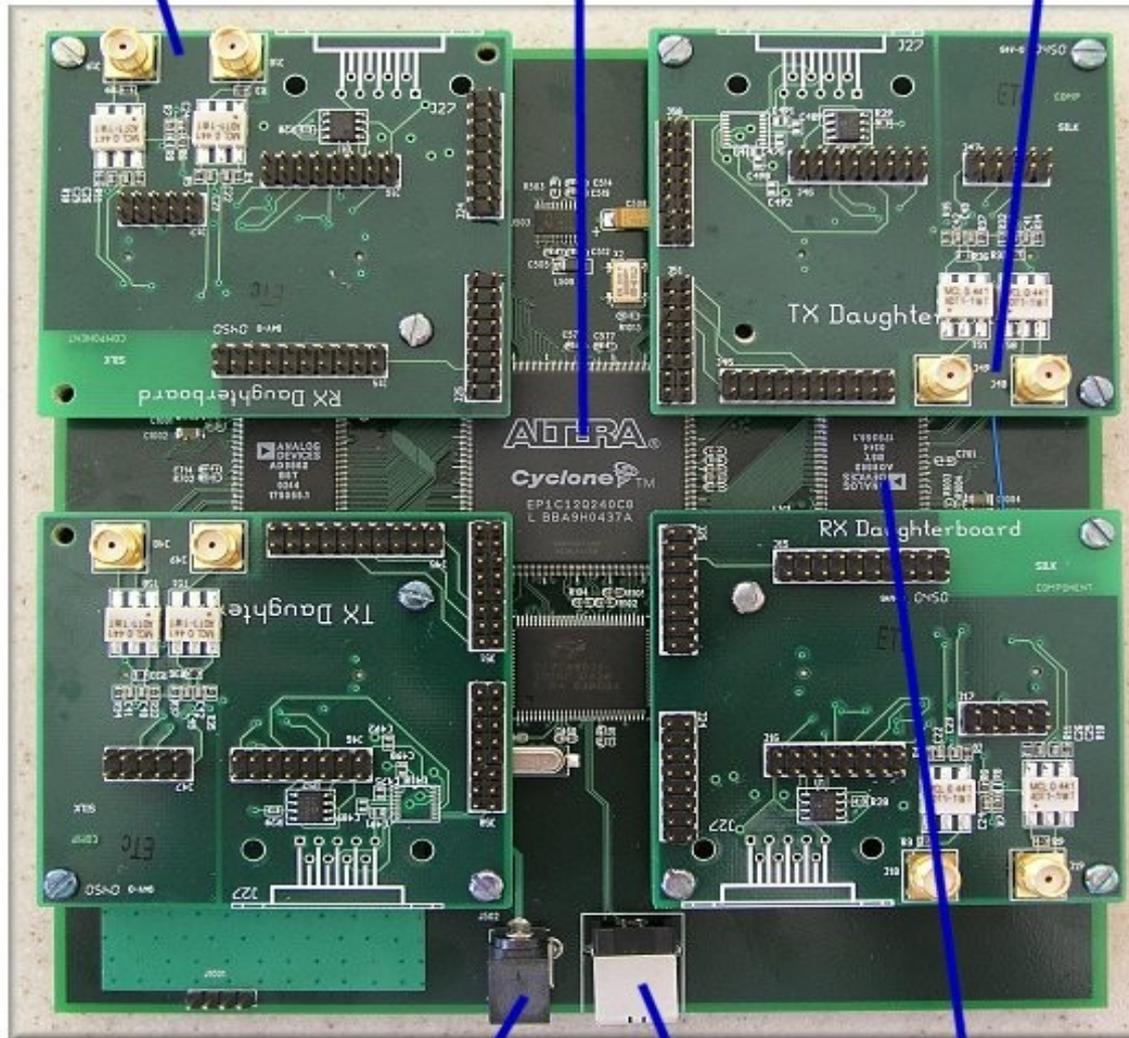
Universal Software Radio Peripheral (USRP)



Receive Channel
RF Interface

Altera FPGA

Transmit Channel
RF Interface



DC Power

USB 2.0
Port

Analog Devices
Mixed Signal
Processor

Universal Software Radio Peripheral

- **4 Convertisseur Analogique/Numérique: 64MHz 12 bits**
- **4 Convertisseurs Numérique/Analogique: 128MHz 14 bits**
- **Interface USB 2 (480Mbits/s)**
- **Peut traiter des signaux jusqu'à 16MHz de largeur**
- **Cartes filles pour la transmission et réception RF (Radio Fréquence)**
 - **Couvrent tout le spectre radio de 0Hz à 2.9GHz (+ 5GHz)**
- **Opérations à haut débit effectuée par la FPGA**
- **Signal en “bande de base” par le bus USB**

Applications avec gnuradio + USRP

- **Applications**
 - Analyse de spectre, oscilloscope
 - Broadcasting: AM, FM, TV, DAB, ... (réception et transmission)
 - Radar passif
 - Décodage GSM
 - Réception GPS
 - Radio astronomie
 - Radioamateurs,...
- **Limitations: bus USB2, puissance processeur, (imagination/temps)**

Démo réception FM RDS

- Réception d'un signal FM avec démodulation et écoute sur le PC
- Démodulation et décodage du RDS (Radio Data System), donnant le nom de la station, fréquences alternatives,...
- Projet sur <https://www.cgran.org>
 - CGRAN: The Comprehensive Gnuradio Archive Network, repository de projet qui utilisent mais ne sont pas dans Gnuradio

Démo d'émission DAB

- **Digital Audio Broadcasting**

- Standard de radio numérique, TV mobile Européen
- Signal OFDM de 1.536MHz (débit brut ~2Mbit/s).
- Bouquet de radios.

- **Infrastructure normale d'émission (>50'000€ d'équipement)**

- Encodeurs (DAB: MPEG-2 Layer 2 ou DAB+: MPEG-4 HE-AACv2 ou DMB: H.264)
- Multiplexeur d'ensemble (production du bouquet)
- Modulateurs OFDM

Digital Audio Broadcasting

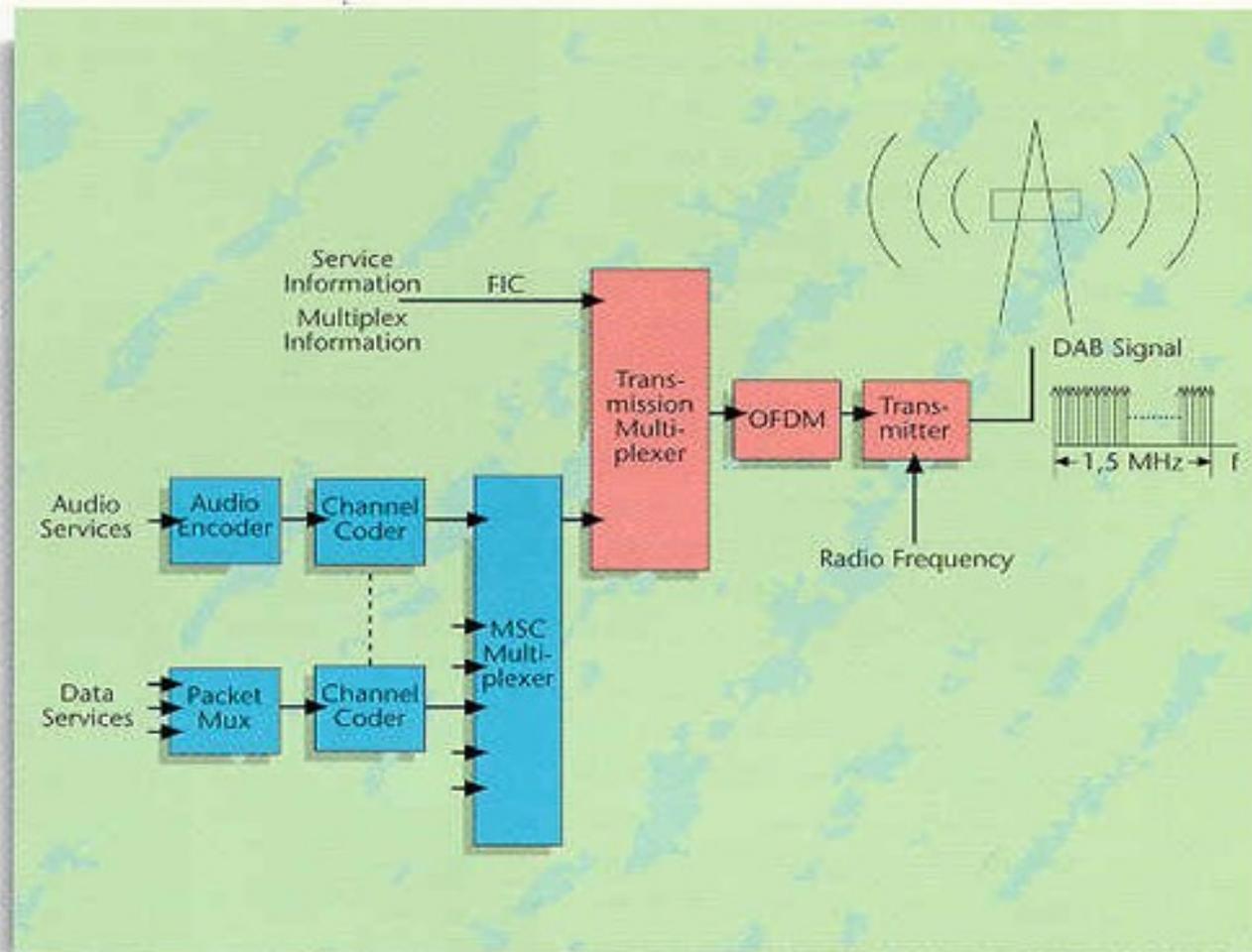


Fig. 1: Generation of the DAB Signal

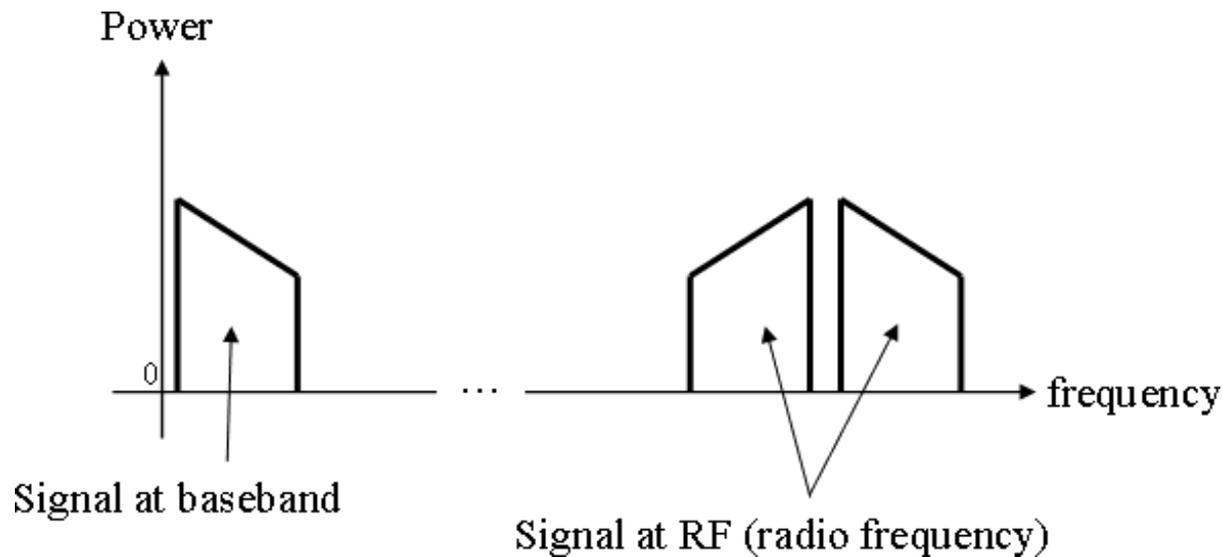
Démo d'émission DAB

- **Encodage, multiplexage, modulation sur un laptop**
 - **Projet: <http://mmbtools.crc.ca> (Communication Research Center Canada)**
 - **Utile à des fins d'expérimentation, développement, innovation.**
- **Démo: Emission DAB en live d'une webradio**
 - **Mpg123 pour reprendre le stream depuis Internet**
 - **Toolame pour l'encodage audio MPEG Layer II**
 - **CRC-DabMux pour le multiplexage**
 - **CRC-DabMod pour la modulation OFDM**
 - **CRC-DWap.py pour sortir le signal sur l'USRP et la commander**

Théorie...

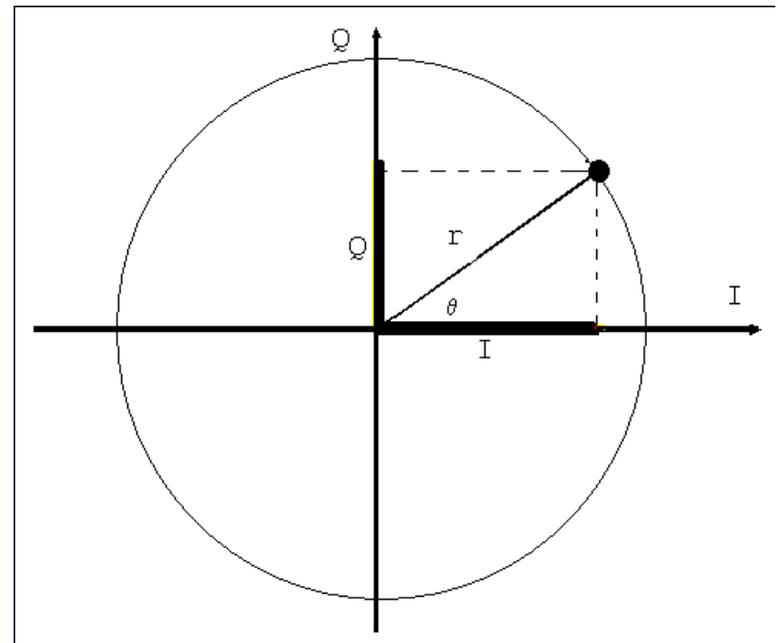
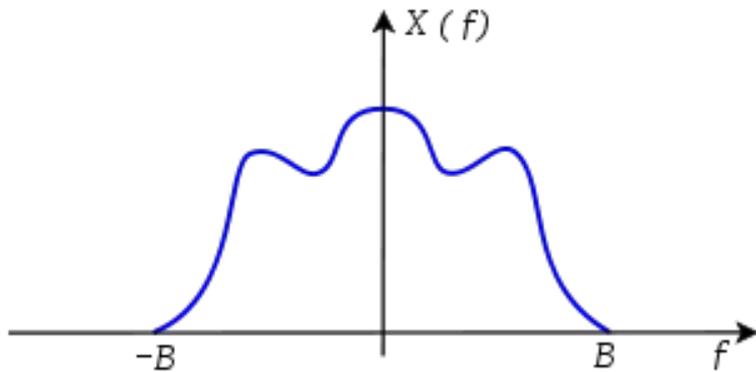
Bande de base

- Contrairement à une carte son, on n'échantillonne pas tout le spectre radio. Le signal est isolé et ramené en bande de base.
- Le traitement est effectué sur le signal en bande de base
 - Réception: Le signal est transposé depuis la fréquence RF voulue
 - Emission: Le signal est transposé à la fréquence RF voulue



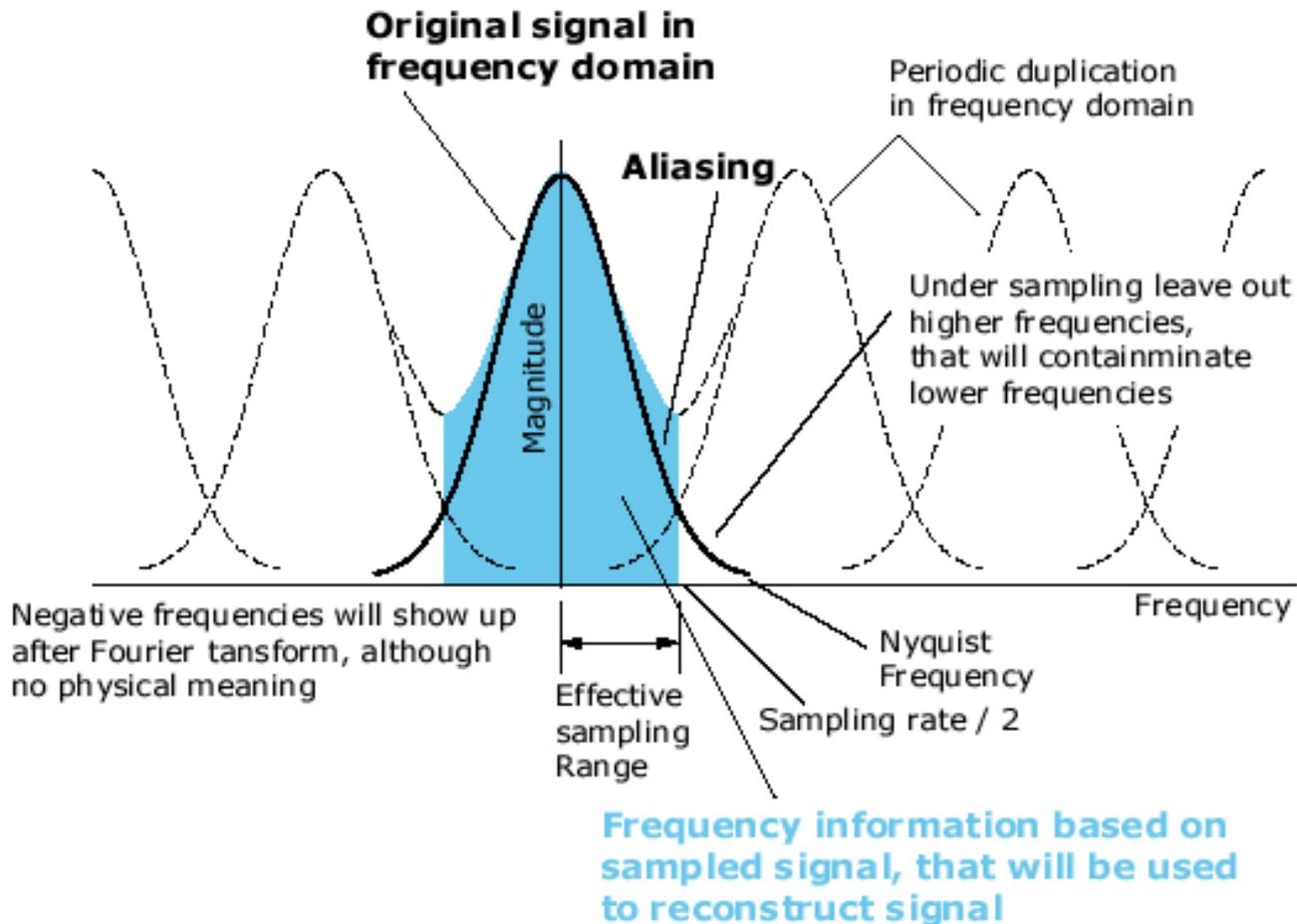
Signal complexe

- **Représentation complexe du signal en bande de base**
 - Echantillon par paire: “I” (in-phase) composante réelle et “Q” (quadrature) composante imaginaire
 - Représentation équivalente: phase/amplitude



Echantillonage

- $F_{\text{sampling}} > 2 * F_{\text{max}}$



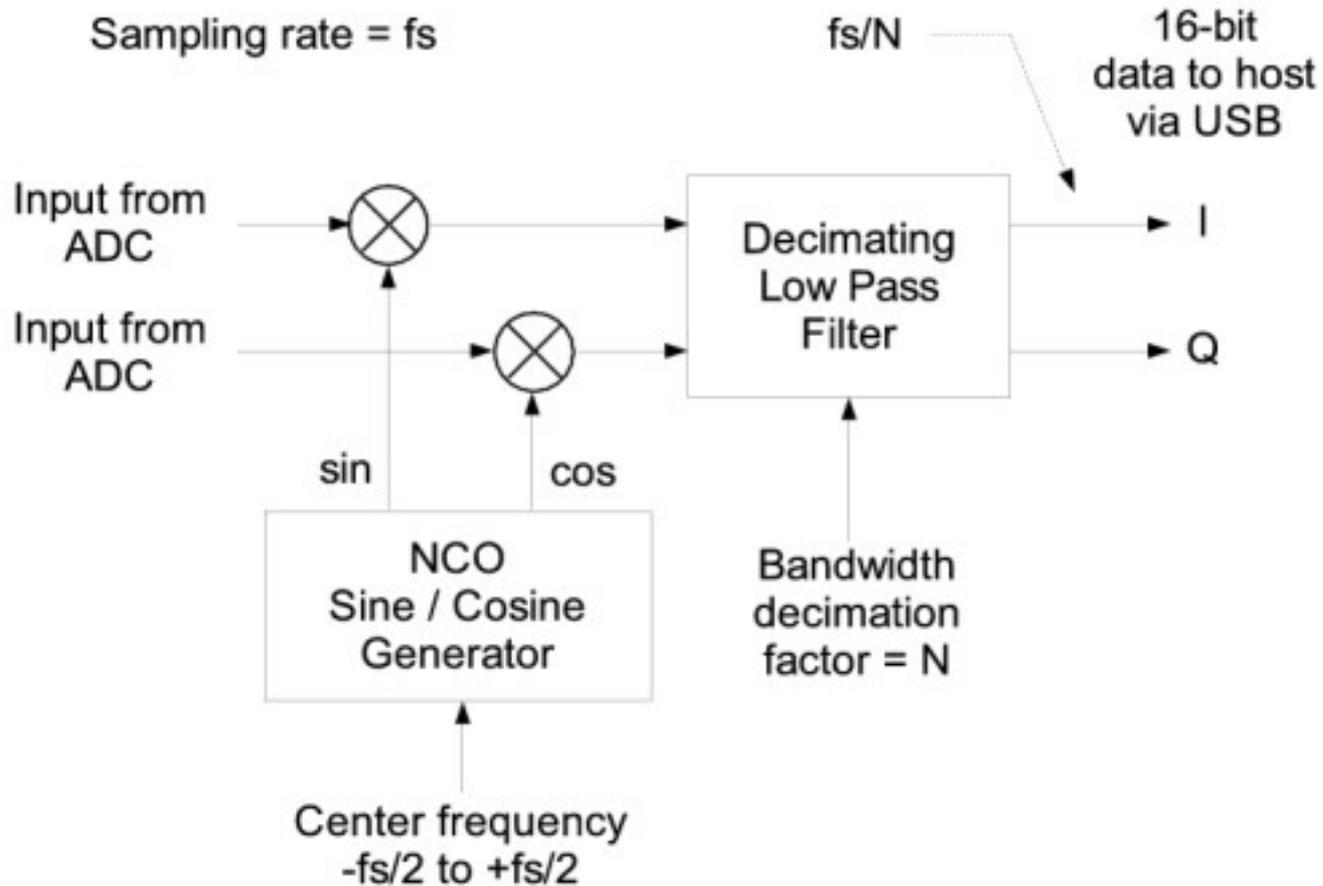
Front end RF

- **Circuits radio après l'antenne**
- **Conversion directe**
 - **Conversion A/D directe. On peut tirer parti de l'aliasing pour capturer des fréquences supérieures.**
 - **Cartes filles Basic TX/RX, LF TX/RX**
- **Transposition par mélange de fréquence (mixer)**
 - **Le signal est ramené à une fréquence intermédiaire dans la gamme du convertisseur.**
 - **Cartes filles DBSRX, TVRX, transceivers**

Exemple conversion directe

- Pour émettre le signal DAB à 220.064 MHz avec la carte Basic Tx (capacité de 1 à 250MHz)
- On produit le signal en bande de base (PC) puis le module avec l'upconverter (USRP) à -33.936MHz (“-” => retourné)
- Le convertisseur D/A à 128MHz de l'USRP va produire
 - Le signal à 33.936MHz (retourné)
 - la 1ère paire d'harmoniques à $128-33.936= 94.064$ MHz (à l'endroit) et $128+33.936=161.936$ MHz (retourné)
 - La 2ème paire d'harmonique à $256-33.936= 222.064$ MHz,...
- Pour cela: ne jamais connecter la carte directement à une antenne !!

Digital Down Converter (dans la FPGA)



Decimation (et interpolation)

- **Facteur de réduction par de DDC (Digital Down Converter) ou DUC (Digital Up Converter)**
- **Exemple USRP, A/D 64MHz I/Q**
 - **Décimation de 8: $64\text{MHz}/8 = \text{signal de } 8\text{MHz}$ reçu en bande de base**
 - **Décimation de 256: $64/256 = \text{signal de } 250\text{kHz}$ reçu en bande de base**
- **Exemple USRP, D/A 128MHz**
 - **Interpolation de 8: $128/8 = \text{signal de } 16\text{MHz}$ produit en bande de base**
 - **Interpolation de 500: $128/500 = \text{signal de } 256\text{kHz}$ produit en bande de base**

Quelques fonctions d'analyse gnuradio

- **usrp_fft.py: analyse de spectre**
- **usrp_oscope.py: oscilloscope (complexe)**
 - **Mode X/Y utile pour visualiser la constellation d'un signal numérique**
- **usrp_rx_cfile.py: enregistrement sur disque d'échantillons I/Q**
 - **Utile pour capturer une portion de spectre et la rejouer**

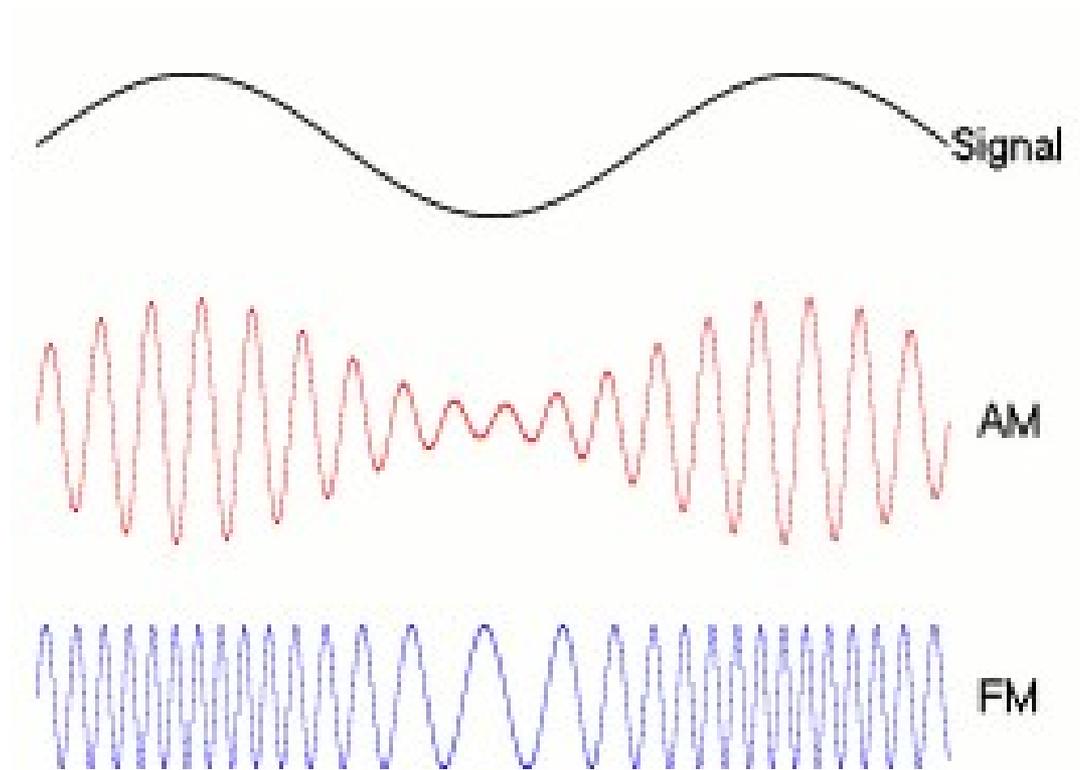
Démo analyse de spectre

- Analyse de spectre en utilisant différentes décimations

Problème courant en software radio

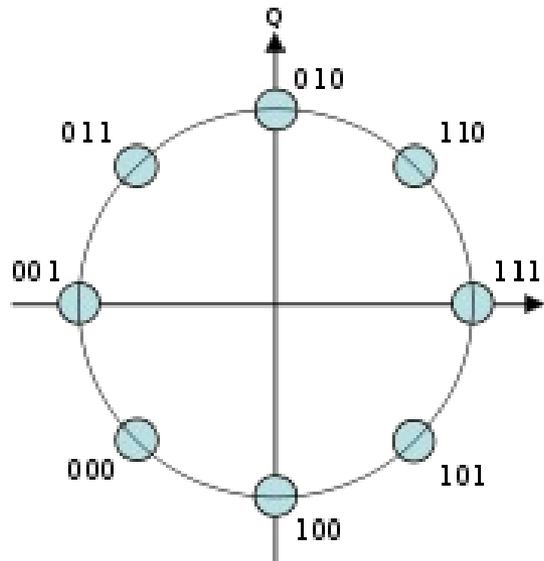
- **Intermodulation par un signal voisin puissant**
 - **Filtrage analogique modéré => le signal puissant est capté et “occupe” tout la gamme dynamique de l'échantillonneur ou alors le sature.**
 - **Le filtrage numérique est inefficent**
 - **Solution par un filtrage analogique adéquat (coût plus élevé) ou par une augmentation de la quantification (mais augmentation des données à traiter)**

Modulations analogiques



Quelques modulations numériques

- **Modulation de la phase/fréquence**
 - **PSK: Phase Shift Keying. BPSK, QPSK, 8-PSK**
Utilisé en satellite (DVB-S, DVB-S2)
 - **GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying.**
Utilisé en GSM, Tetra,...



Constellation 8-PSK

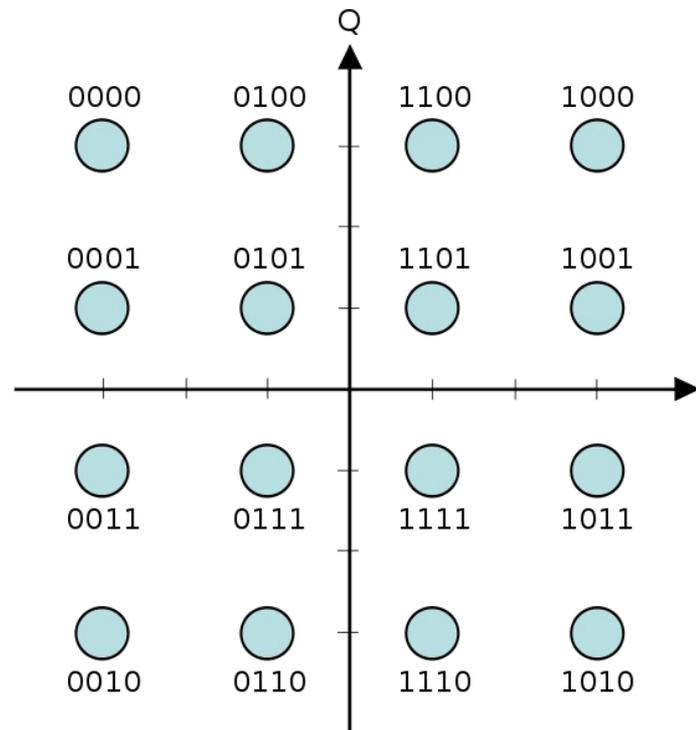
Démo oscilloscope

- Visualisation d'un diagramme I/Q avec l'oscilloscope en mode X/Y
- Si ca marche(signal recu suffisant)

Quelques modulations numériques

- **Modulation de la phase et de l'amplitude**

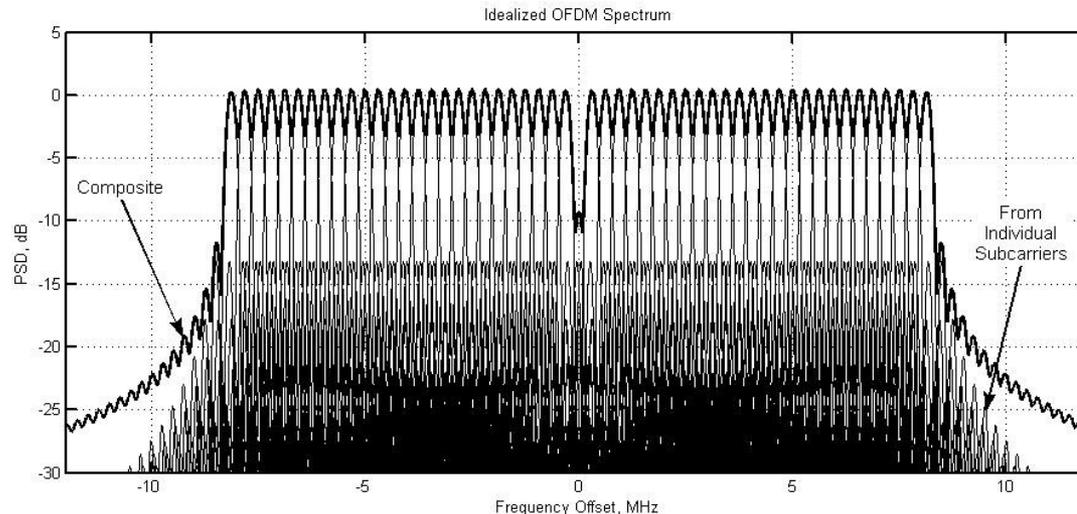
- **QAM: Quadrature Amplitude Modulation. (QAM-16, -64, -256)**
Utilisé en xDSL, Docsis, DVB-C,...



Constellation
16-QAM

Quelques modulations numériques

- **OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing**
 - **Modulation sur plusieurs fréquences porteuses orthogonales (équivalent pour geeks: “port parallèle” de la radio ;)**
 - **Utilisé en xDSL, Wifi, DAB, DVB-T, 4G,...**



Applications...

Démo émission FM, AM

- **Démo construction d'un émetteur FM et AM en utilisant Gnuradio Companion (GRC)**

Quelques projet utilisant gnuradio

- **OpenBTS: Open GSM Network !! (hosted by gnuradio)**
- **GPS receiver (<http://www.gps-sdr.com>)**
- **Full bandwidth 802.11b receiver**
- **Dect receiver**
- **Radar passif**
 - **Radar n'émettant aucun signal mais analysant les réflexions provenant d'émetteur broadcasts terrestres**
- **Gssm: GSM beacon scanner (sans la voix, cryptée)**
 - **<http://wiki.thc.org/>**

Implications

- **Récepteurs multi-standard (limité par les coûts de patentes)**
- **Démocratisation de l'émission/réception radio**
 - **Pirates !!**
 - **Home devices**
- **Standards**
 - **Jusqu'à maintenant: spécifications papier**
 - **Future: papier + implémentation de référence ouvert réutilisable par n'importe quel fabricant et ouverte à la communauté d'universités, centres de recherche pour les innovations**

La réalités des standards....



DAB-IP



DVB-SH

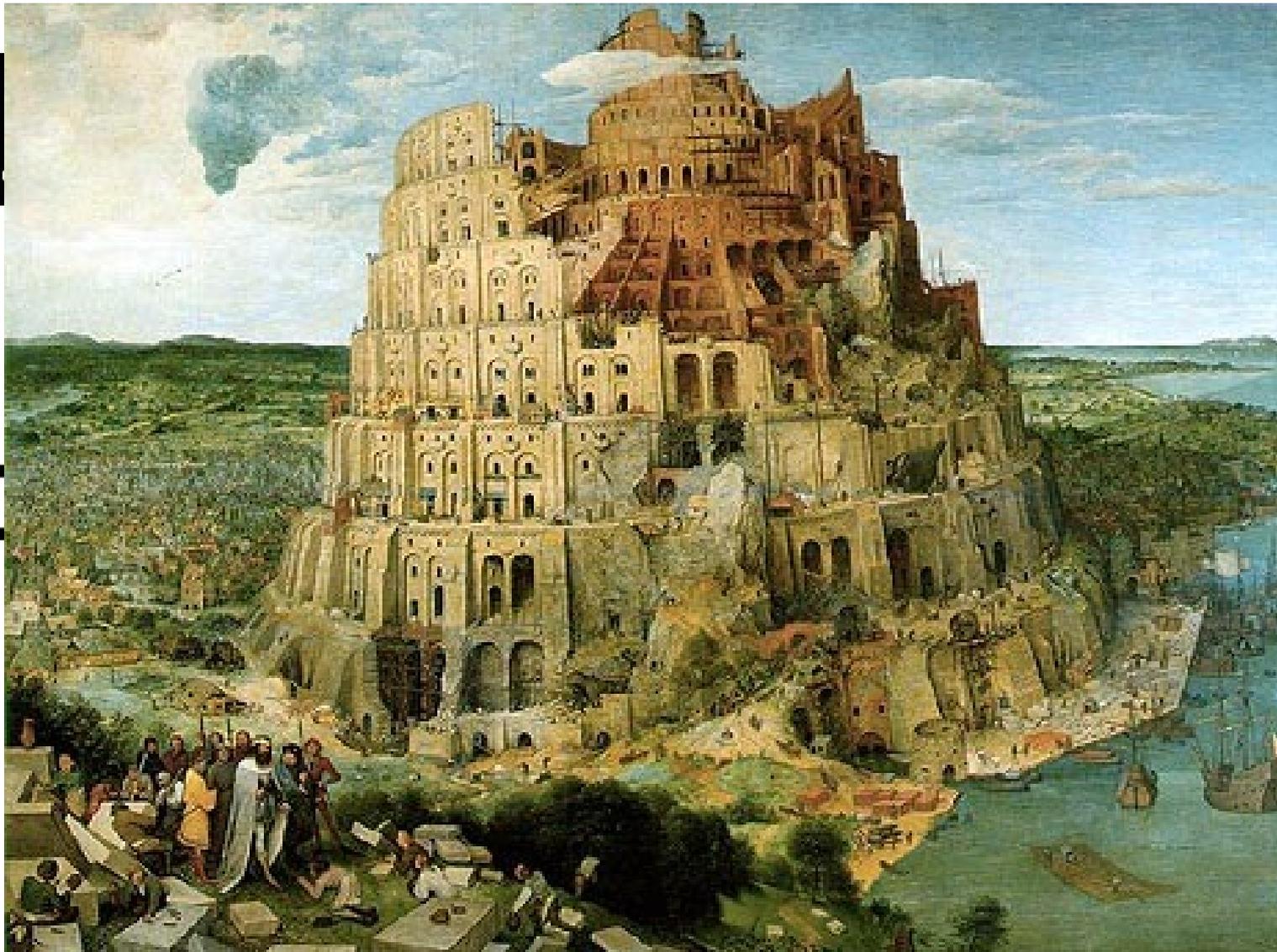


ISDB-T



and more to come

La réalités des standards....



W

DAS
media

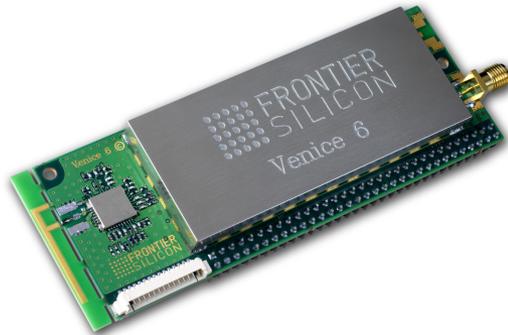


TIATIVE

TY
AL

ome

Modules avec une approche software radio..



- Receiver module: FM, DAB, DAB+, DMB, Wifi radio

Conclusion

- **Le concept de software radio allié à la puissance des processeur actuels offre de nouvelle perspectives**
- **Gnuradio + USRP: un outil open source puissant avec un foisonnement de projets**
- **Gnuradio peut être utilisé avec d'autre sources que l'USRP (fichier, cartes son, autres plateformes software radio,..)**

Pour plus d'information

- **Gnuradio <http://gnuradio.org>**
- **USRP <http://www.ettus.com>**
- **Links and information on software radio:
<http://f4dan.free.fr/sdr.html>**

The end

- **Merci et bonne nuit....**
- **Questions ?**

Mathias Coinchon
coinchon@yahoo.com