

SDR : principes et pratiques





Denis F6DCD et Arnaud F6BZG pour F6KQV REF67 le 23 mars 2014

Sommaire

Principes de la SDR

Carte son

Configuration d'une SDR

Les principaux RX ou TRX SDR

Les logiciels

Performances RF

Conclusion

SDR

la **SDR** (Software Defined Radio)
Radio définie par logiciel

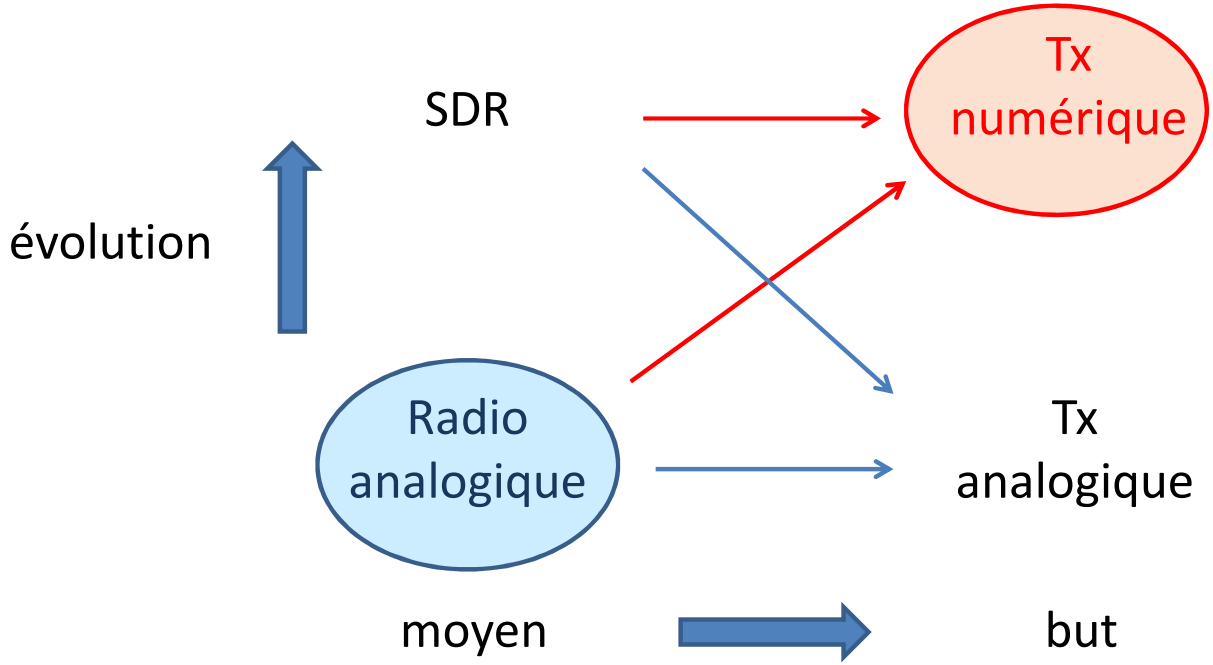


C’est 1 Rx (ou Tx / Rx) dont la majorité des **fonctions**

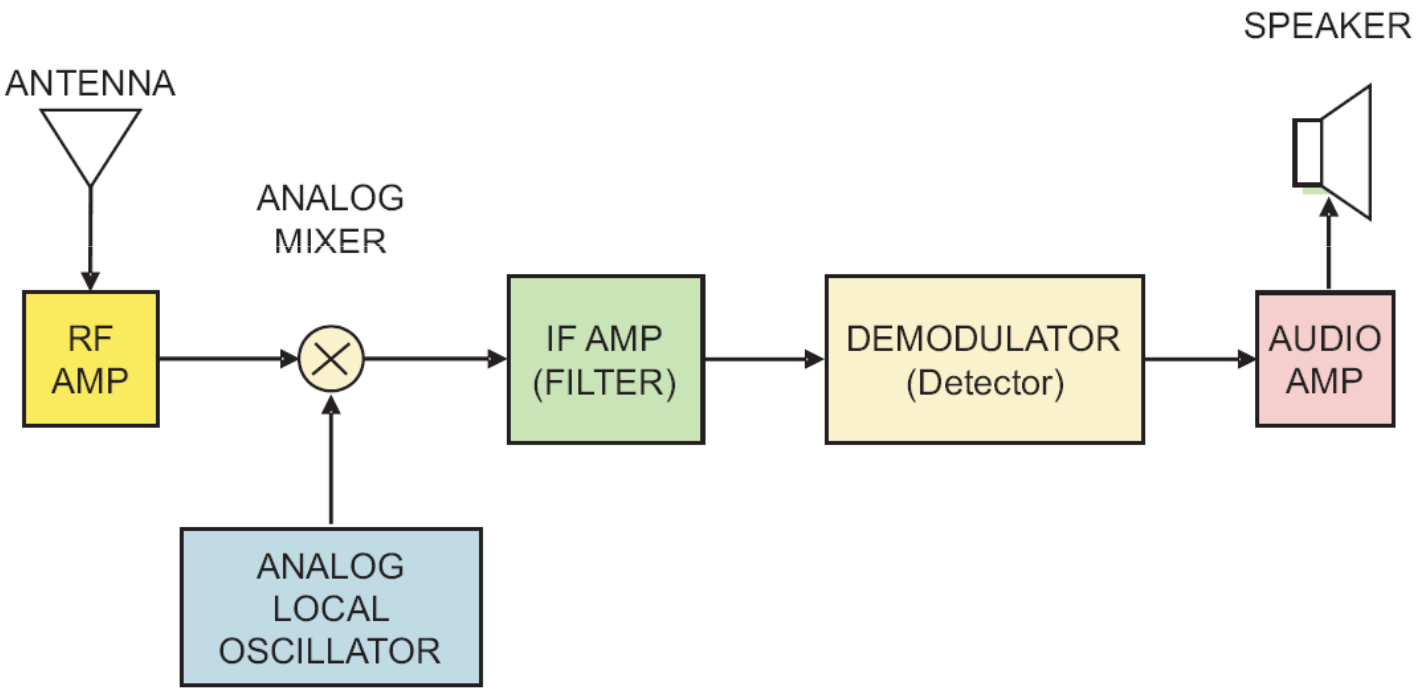
(mélangeur, oscillateur local, filtrages, démodulation, …)

est **réalisée par calcul** (logiciel)

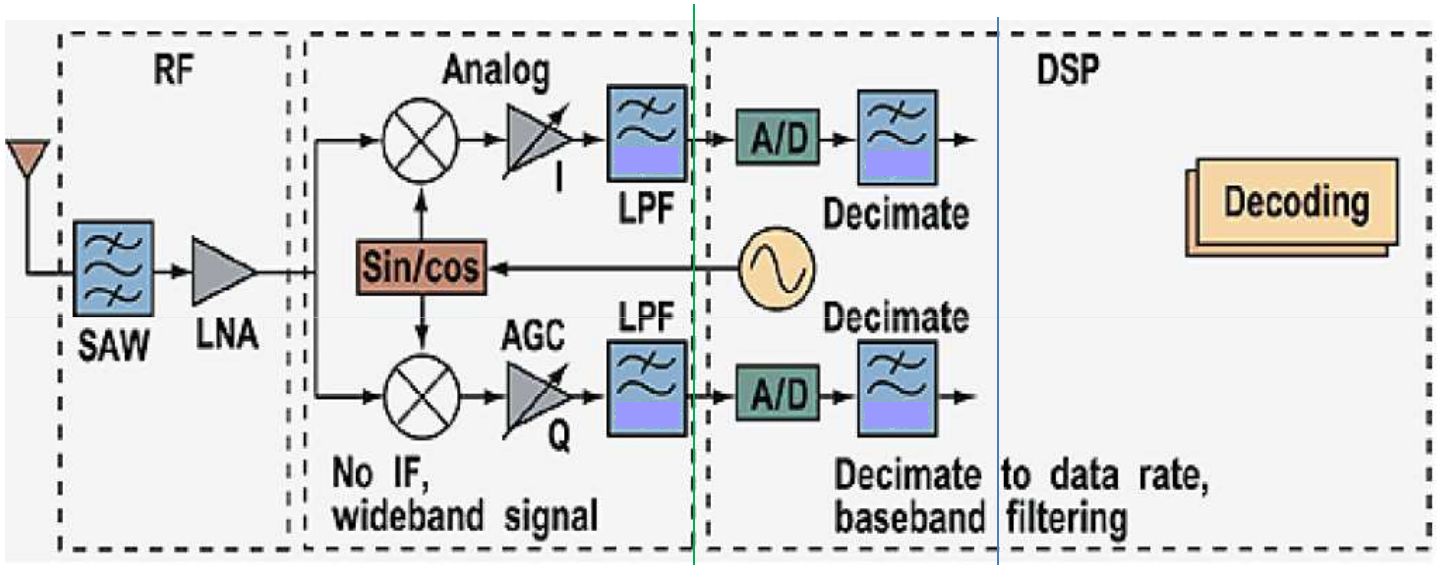
SDR ≠ Transmission numérique



Rx superhétérodyne



Architectures (Rx) SDR - A1 & A2



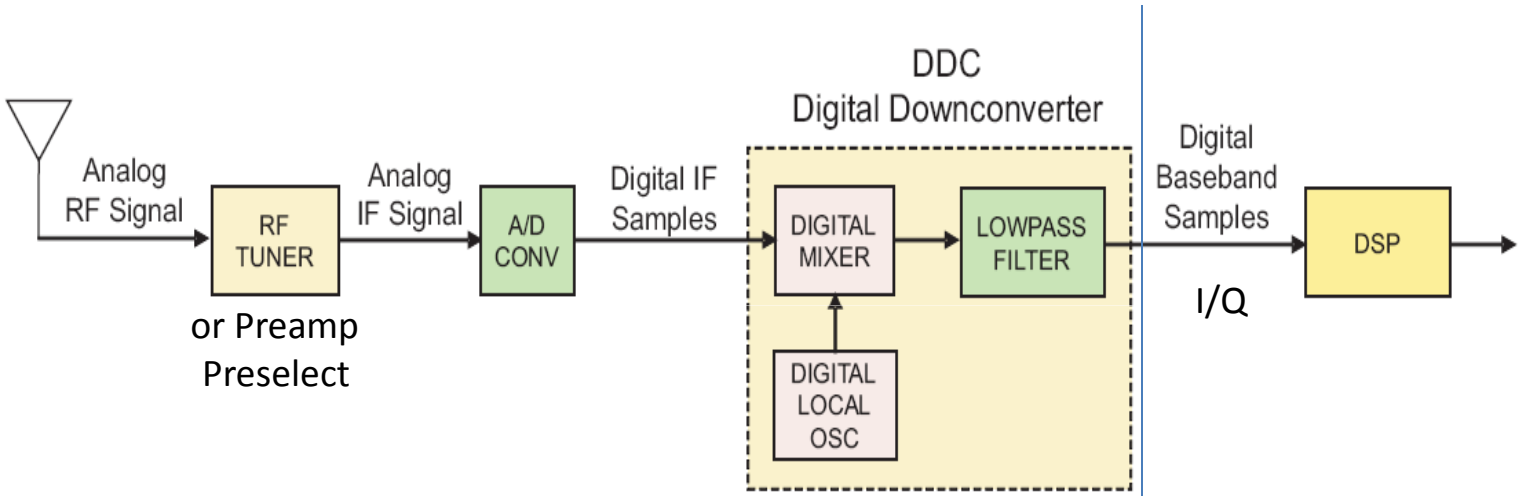
A1 - Transposition RF/DC analogique
sorties I/Q analogiques

carte son (ADC et DAC) PC

A2 - Transposition RF/DC analogique
sorties I/Q numériques

carte son (DAC) PC

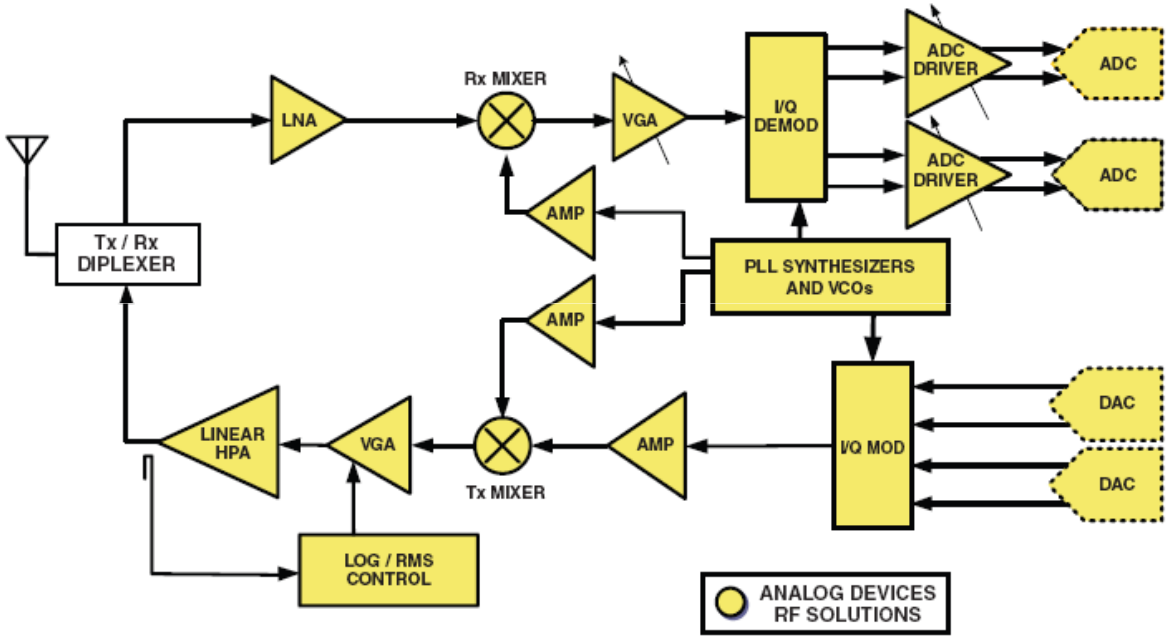
Architecture (Rx) SDR – A3



A3 - Transposition RF/DC (mélangeurs I/Q) numérique
sorties I/Q numériques

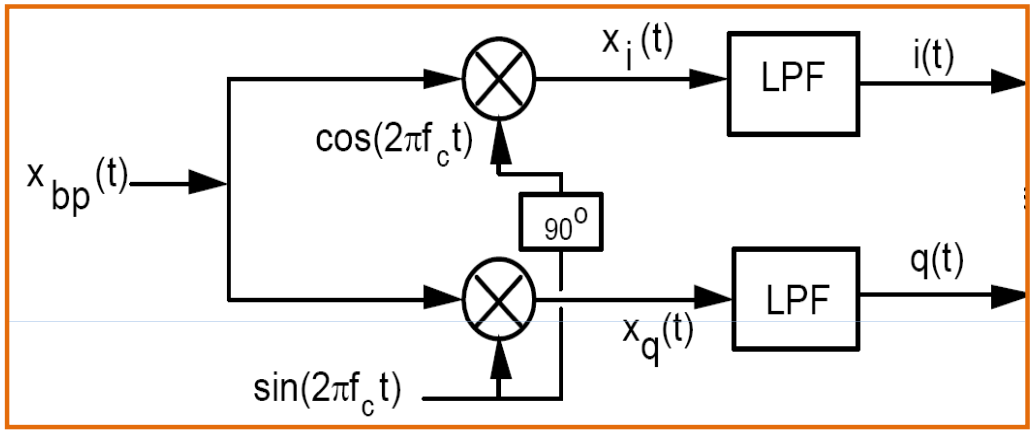
carte son (DAC) **PC**

Et pour la transmission …



… c'est similaire

Signaux I/Q



Intérêt :
A partir de ces 2 composantes, on connait le module et la phase de $X_{bp}(f)$

- si on additionne I et Q déphasé de 90°, on neutralise la fréquence image de X_{bp} ; le spectre transposé est centré sur 0 Hz => **BP = F_s**, fréquence d'échantillonnage
- avec ces 2 composantes, on peut facilement restituer (démoduler) le signal d'origine

Numérisation (entrée)

- **Echantillonnage** (sampling)

  $F_s > 2\ F_{signal_max}$ (th. de Shannon / Nyquist)

- **Quantification**

  (S/N) /dB ≈ 6 n pour 1 convertisseur de n bits

On peut améliorer ce rapport avec un **sur-échantillonnage de rapport k** et une **décimation ;** on obtient un

gain de process / dB = 10 log(k)

Ex : AD6620 du SDR-IQ
n = 14 bits et k = 16 x 32 => S/N = 6 x 14 + 10 log(16 x 32) = 111 dB

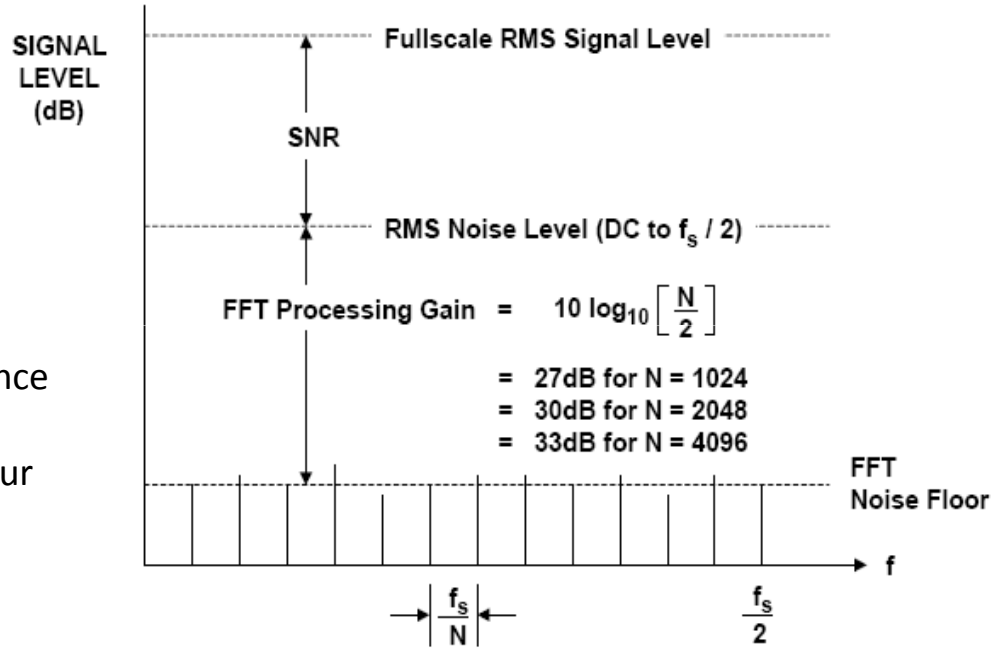
FFT (affichage)

f_s = fréqu. d'échantillonnage

N = nb de points FFT

(f_s / N) = résolution en fréquence

(N / f_s) = tps de calcul max pour N points FFT



Ex : f_s = 192 k ech/s , n = 16 bits et N = 4096 pts
(f_s / N) = 192000 / 4096 = 47 Hz
SNR = 6 x 16 = 96 dB, FFT Proc gain = 33 dB => dynamique = 96 + 33 = 129 dB

Carte son

Les performances de la SDR dépendent de celles de la carte son (voir caractéristiques entrée & sortie précédentes)

Les types A3 et A2 ne nécessitent pas de carte son très performante, seule la sortie (lecture) est concernée

Le type A1 demande en général une carte externe, obligatoire pour les PC portables (en général entrée micro mono)

Des cartes son



SB Audigy 2 PCI M-Audio USB

Sound Blaster pro 5.1
24-bit/96 KHz dynamic range 104 dB 48€



EME 0202Premium 24-bit/192kHz
113dB S/N 110 €

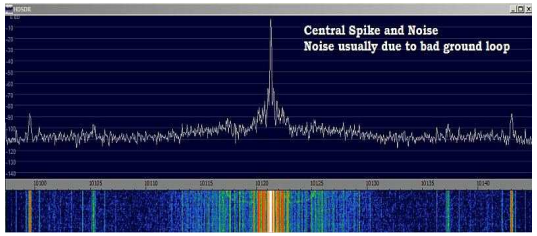


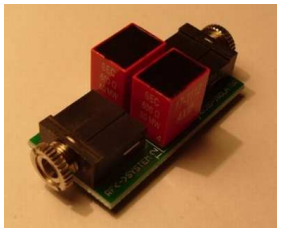
USB2SDR 24-bit/192kHz dynamic range
123 dB S/N 123 dB 180 €



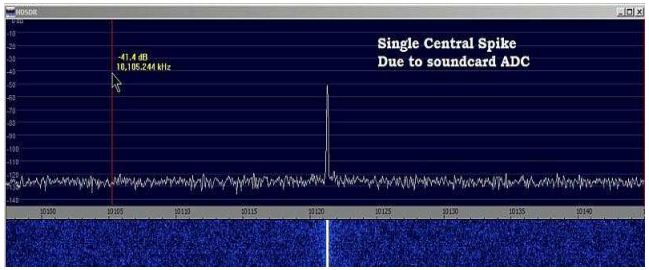
Neutraliser IF 0 et boucle de masse (ground loop)

Si carte son séparée de carte SDR

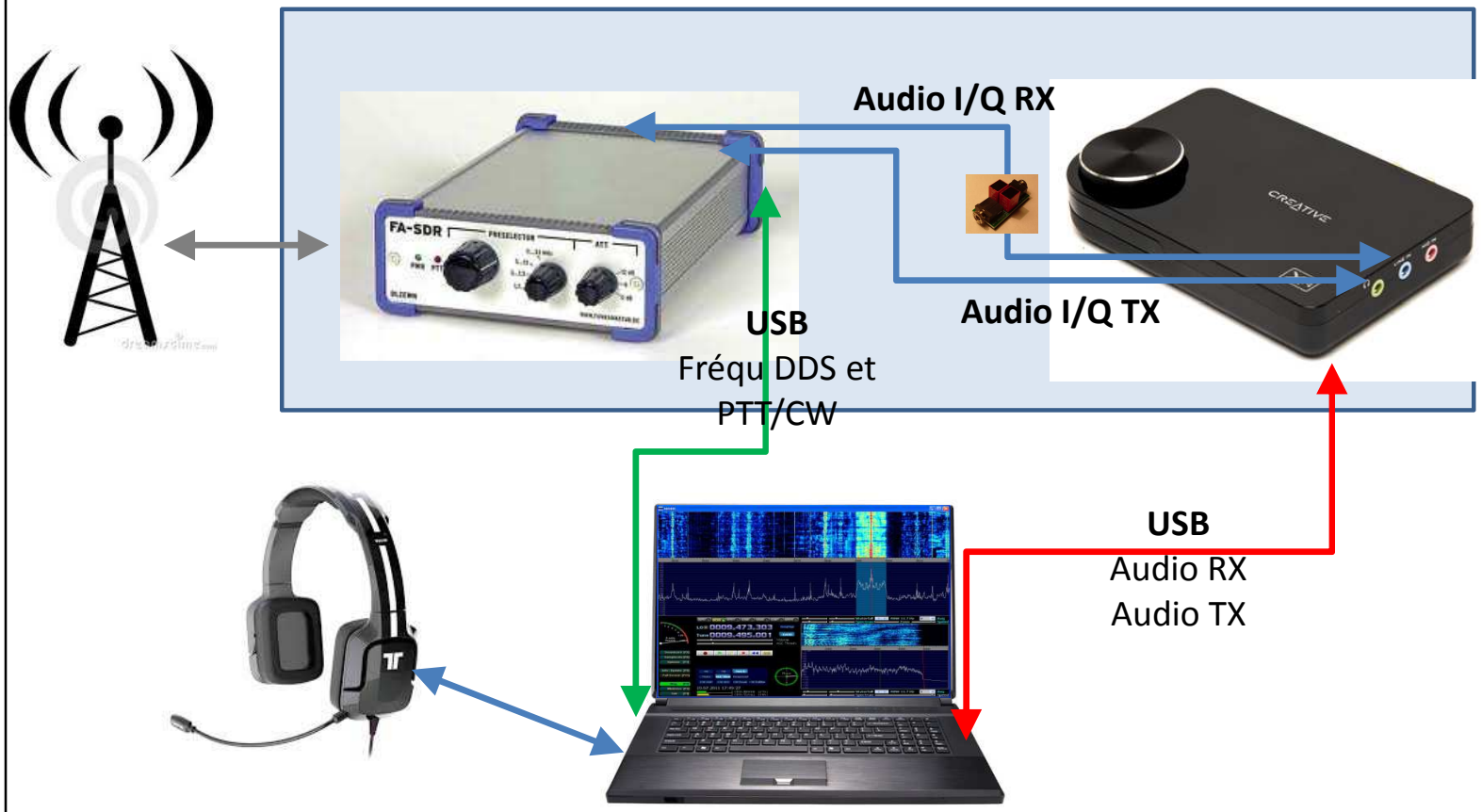




Transformateurs d'isolement sur chaque canal audio avec BP égale à BP de la carte



Configuration d'un TRX SDR QSD (A1)



Configuration d'un SDR-IQ (A3) ou d'un Flexradio1500 (A2)



Les principaux récepteurs SDR

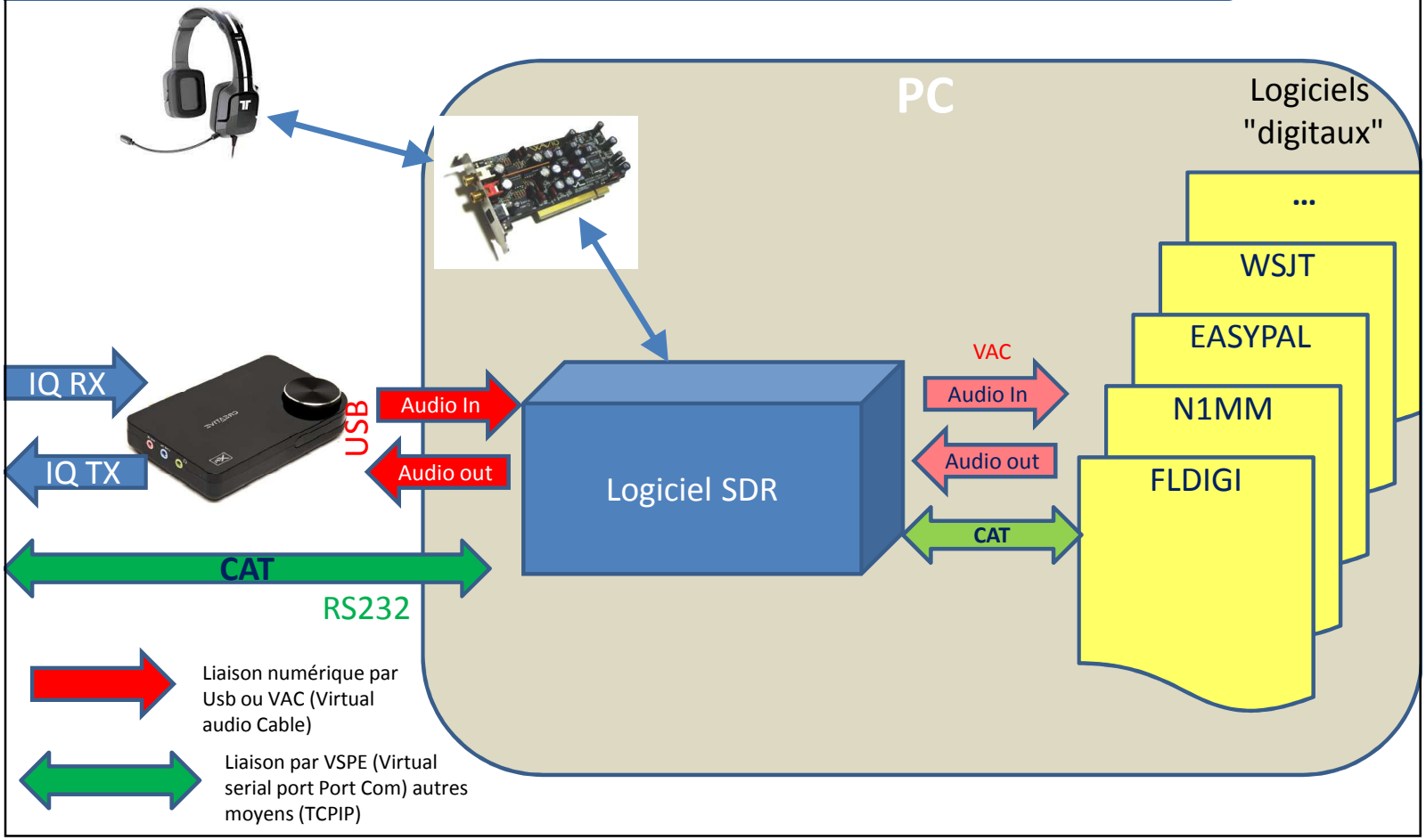
	Principes	Gamme réception	Carte son/ bande passante	Prix approx	Observations
SoftRock et clones (PMSDR, …)	A1 Détecteur de Tayloe ou QSD	1 à 3 bandes si quartz, 1 à 30 Mhz en général	Externe BP en fonction carte son (48 à 192 KHz)	30 à 90 € selon config	Mono bandes à quartz ou multibandes avec SI570, Facile à réaliser
Funcube	A2 - E4000 Silicon tuner	64 MHz à 1700 MHz	Interne Bp = 48 KHz	ND 	Nécessite des filtres en entrées, bonne sensibilité
Funcube pro	A2	150 KHz à 2 GHz	BP 192 KHz	150€	Présélecteur pour améliorer IMD
Clef RTL	*A2 - RTL* 2832U silicon tuner	20 à 1000 MHz	Interne Bp = 48 KHz	15 €	Produit de découverte
SDR-IQ	A3 – DDC ASIC	500 Hz à 30 MHz	Interne Bp = 192 KHz	550 € 	Hautes performances, bon rapport qualité / prix
Perseus	A3 – DDC FPGA	10 kHz à 30 MHz	Interne Bp = 192 KHz	830 €	Un peu supérieur à SDR-IQ, meilleur filtrage entrée

Tous se connectent au PC par des ports USB qui servent d'alimentation

Quelques transceivers SDR

	Puissance	Type p.pes		Fréq.	Carte son	€	observations
Softrock et clones (FA-SDR, Fifi, …)	1W en général	QSD		Idem récepteur	Externe BP selon carte son (48 à 192 KHz)	100 € à 250 €	Avec/sans filtre antenne, avec/sans DDS, avec/sans présélecteur automatique Composants CMS/ composants traversant
Flex 1500	5W	QSD		1.8 à 52 Mhz	Incluse (Bp 48 KHz) + connexion USB	600 €	Driver Usb propriétaires Latence trop importante pour QSK
Flex3000	100W	QSD		1.8 à 52 Mhz	Incluse (BP 96 KHz) + connexion Firewire	1600 €	ATU inclus QSK
Flex6000	100W	DDC DUC		1.8 à 52 Mhz	S/O	5 à 7 K€	8 Bandes simultanées Analog Devices AD9467 16-bit 245.76 Msps Full duplex Performances extra-ordinaires
Hermes	5 à 10W	DDC DUC		1.8 à 52 Mhz	Spéciale tres haute performance	900 € en kit	Kit très haut de gamme ultra performant
KX3	12 W	QSD		1.8 à 52 Mhz	Sortie I/Q 92 Khz	1000 €	Ultraportable: 6h sur batterie Autonome plus sortie I/Q Latence non perceptible : full QSK

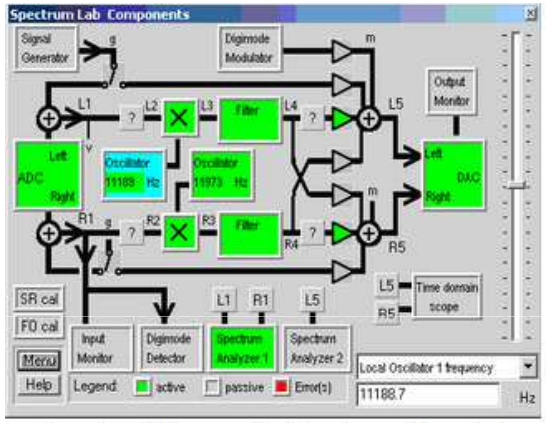
Configuration logicielle



Les principaux logiciels SDR

	OS	Principales caractéristiques
Rocky	Win	Le plus rustique Codage/décodage PSK intégré Correction de la phase et du gain I/Q progressif et automatique
HDSDR	Win	Simple en configuration de base Prise en main facile pour fonctions de base, très satisfaisant en Rx
Spectrumlab	Win	Logiciel orienté mesure
Powersdr	Win	Le plus abouti en RX comme en TX Permet le split Tout est paramétrable Open source Flexradio très utilisé pour autres TRX Annulation de F image automatique
SDR#	Win	L'essentiel y est Bien adapté pour VHF et au dessus Comprend les drivers de Funcube, RTl, …
Quisk	Win ou Lin	Interfaces configurables en Python Permet le trafic via Ethernet Annulation de F image (RX et TX) très fin Permet de réaliser un VNA avec son SDR
GNUradio	Lin ou Win	Construction logicielle modulaire du récepteur
Autres		Linrad, SDR , Argo, WSPR/SDR, Spectravue, Cwskimmer/IQ, Multipsk/IQ, Elektor …

Quelques commentaires sur les logiciels SDR

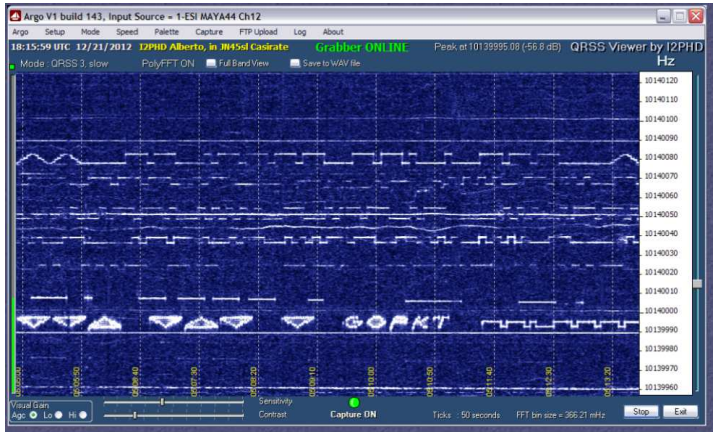


•Il y a très peu d'information concernant les performances des logiciels

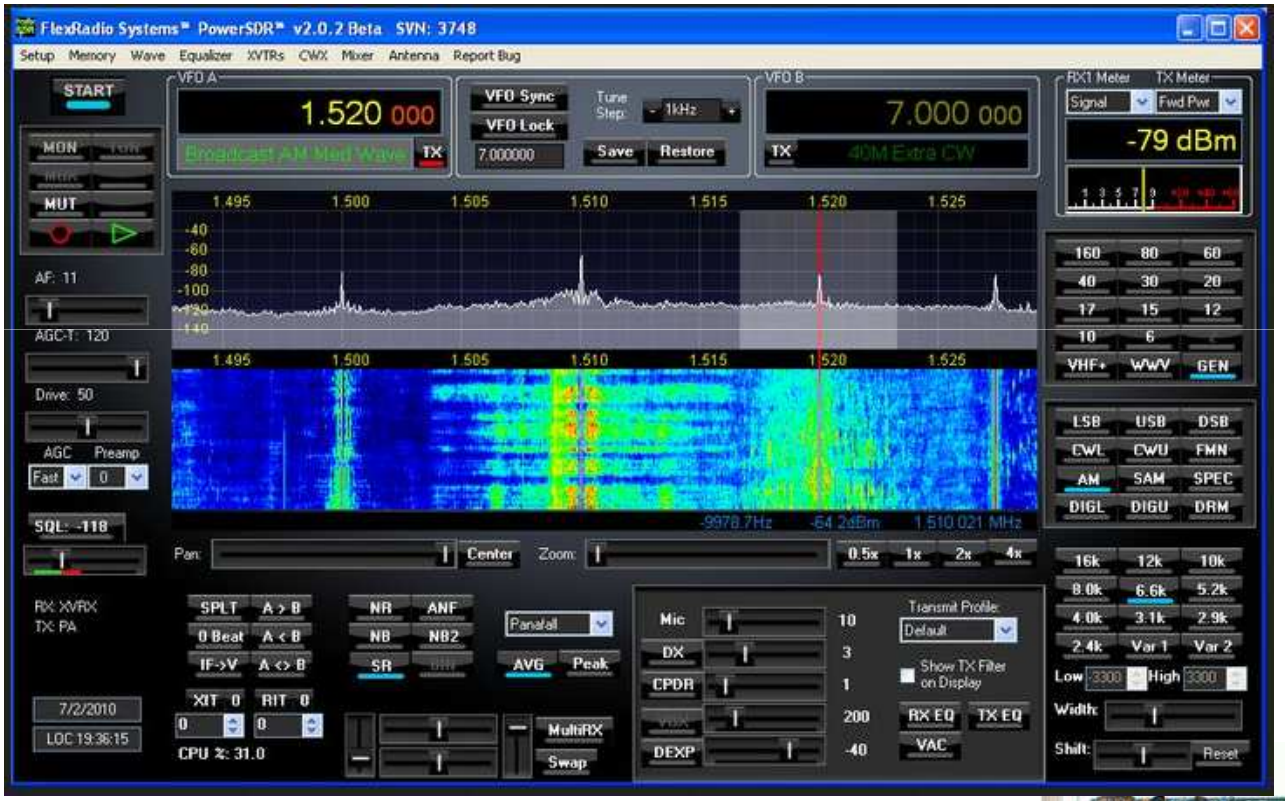
•Ce qui les différencie sont la présentation, l'ergonomie et les facilités de configuration

•Il permettent d'enregistrer la BP totale (par ex 192 kHz) et de la restituer comme si la station écoutait la bande réelle

•La fonction *chute d'eau / Waterfall* très adaptée à la surveillance de bande, utile pour les signaux faibles (LF, VHF, …)



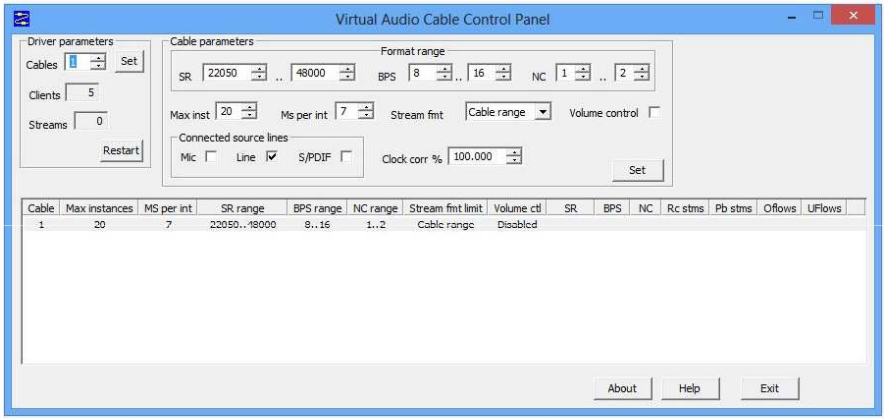
Les fonctionnalités des logiciels
ex : Powersdr de Flexradio



Les fonctions du logiciel sont indépendantes du hardware, donc accessible aux plus simples des SDR !

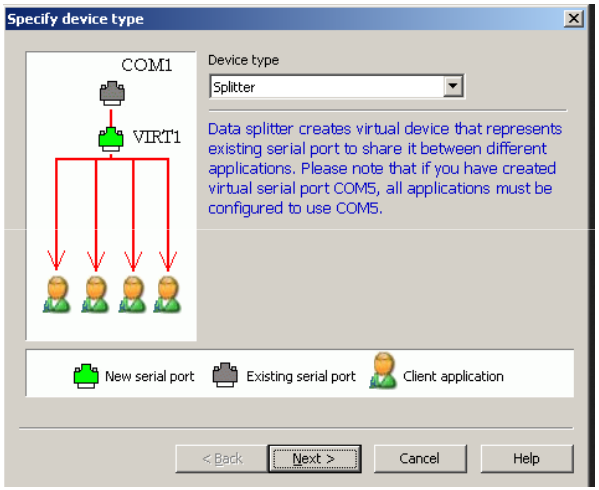


Virtual Audio Cable (VAC)
Virtual Serial Port COM (VCOM)



Virtual Audio Cable : pour créer des câbles transportant au sein du PC les données numériques entre les logiciels

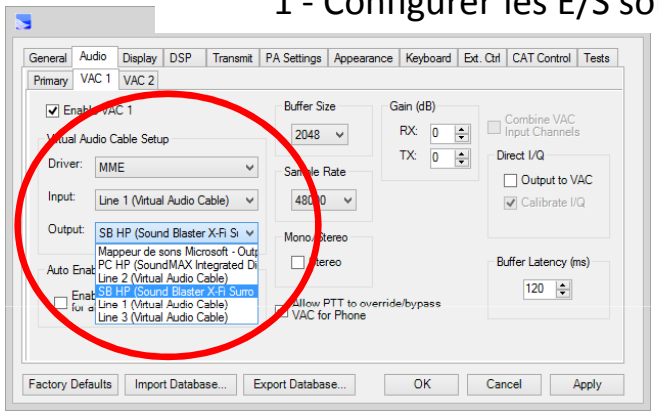
Autre freeware : **Vb-cable**



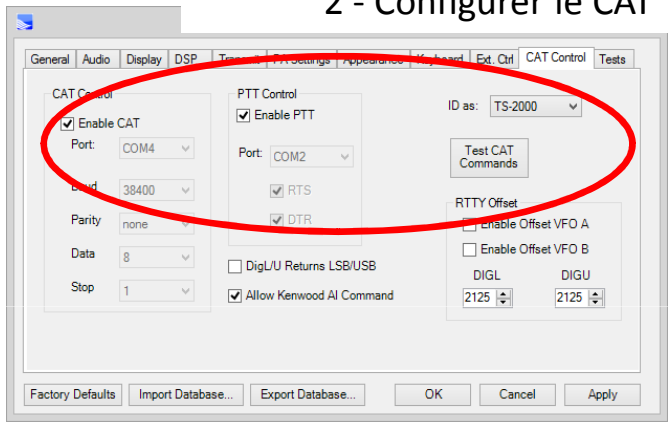
VSPE : pour créer des ports série virtuels et relier des ports série réels ou virtuels entre eux

Configurer un logiciel SDR

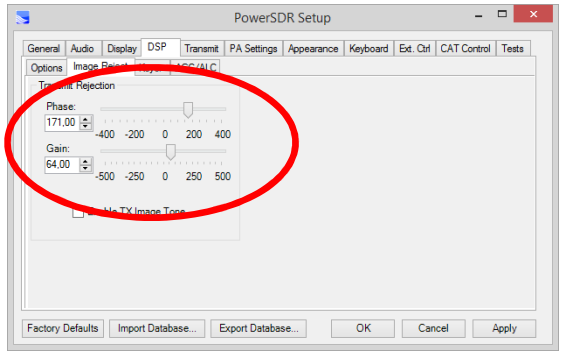
1 - Configurer les E/S son

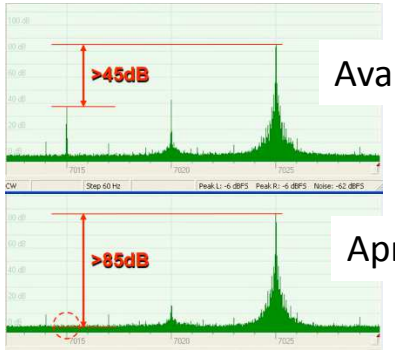


2 - Configurer le CAT



3 - Annuler la fréquence image





Les logiciels digitaux

Logiciels	Fonctions	Commentaires
FLDIGI, DM780, Multipsk	Codage et décodage des principaux modes numériques	Les plus utilisés avec pour chacun, avantages et inconvénients
MMTV, RTTY	Codage et décodage SSTV	Algorithme dsp efficace
Easypal	Codage décodage SSTV numérique	Image digitale
WSPR, WSJT	Suite de K1JT pour signaux faibles	
Cwskimmer	Décode toutes les Cw dans une plage de fréquence (BP de 20 KHz)	Peut être interfacé via telnet à des clusters (Reverse Beacon)
FreeDv	Voix SSB en digital	Utilise Codec2 en déca (1.6 KHz)
……		La liste est innombrable …

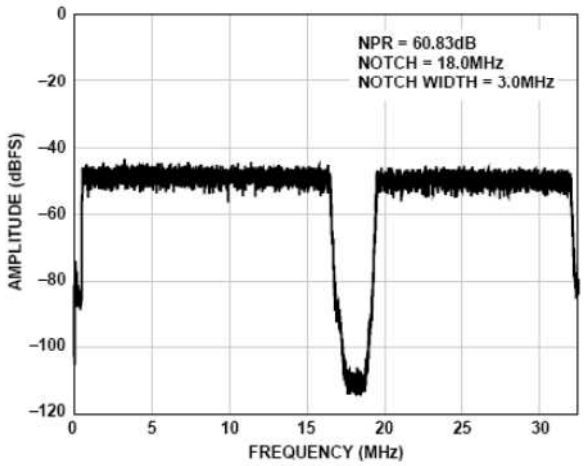
Améliorer le fonctionnement de son logiciel SDR

Symptômes	Paramètres concernés	Pour améliorer la situation
L'image dans le waterfall est identique/symétrique de part et d'autre de la F0 (fréquence centrale)	Signaux I/Q	Le signal traité est mono : vérifier connexions (une voie I ou Q absente) ou que les liaisons sont bien stéréo
L'image d'un coté de la F0 est symétrique à l'autre mais les signaux ne sont pas de même niveaux	I/Q	Il faut ajuster le gain et la phase entre la voie I et la voie Q pour annuler la fréquence image
Les bandes latérales des signaux sont inversés et l'image de part et d'autre de la fréquence F0 n'est pas du tout symétrique	Signaux I/Q	Inverser les signaux I/Q : dans le logiciel ou par inversion des câbles audio
Craquements audio	Taille des buffers ou latence	Augmenter la taille des buffers, augmenter la latence Augmenter la priorité du CPU, réduire la FFT Vider les buffers , diminuer la vitesse d'échantillonnage des cartes
Audio décalée par rapport à situation temps réel	Latence, taille des buffers,	Diminuer le paramètre latence, diminuer la taille des buffers, augmenter la vitesse d'échantillonnage (carte son et VAC) Vider les buffers, augmenter la vitesse d'échantillonnage des cartes
La vitesse de rafraichissement de l'affichage est trop rapide/trop lente	FFT	Diminuer/augmenter la fréquence FFT et le rafraichissement de l'écran (Frame per Second)
Le PC et/ou l'affichage se fige, l'indicateur CPU atteint 100%	Le logiciel sollicite à l'excès le CPU	Augmenter la latence Diminuer la taille des buffers Réduire l'affichage si pas nécessaire

Nouvelles technologies -> nouvelles mesures : à quelles caractéristiques RF s'intéresser ?

	Dynamique (DR) dB	Bruit de phase OL dBc/Hz à 10 kHz	Réj. Im. I/Q dB
Funcube, RTL (E4000)	< 60	-80	50
FLEX1500, FA-SDR (SI570)	90	-130	70
SDR-IQ, Perseus (DDC)	> 90	-155	90

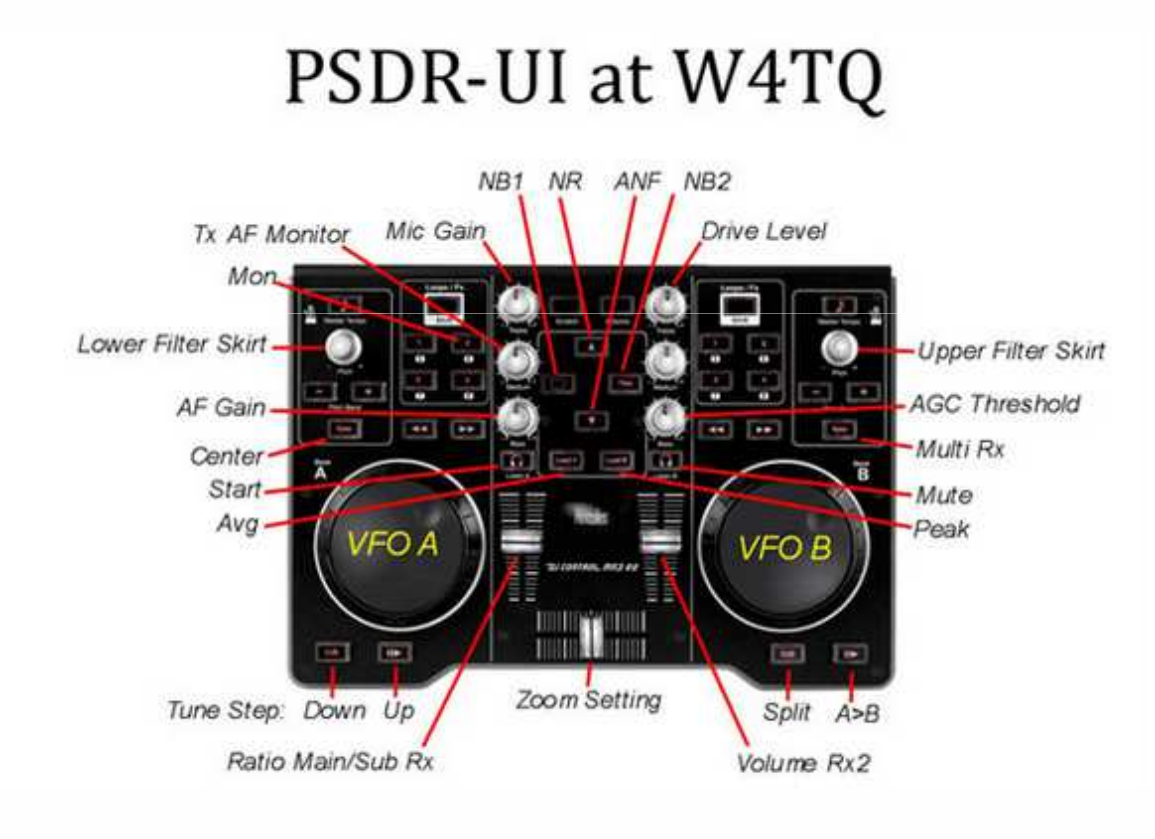
- Dépendent de : PREAMP, OL, ADC
- Pour les « vrais » SDR (DDC type A3), certaines mesures de l'analogique (IIP3) ne sont plus exclusives : utiliser des mesures types ADC (NPR, Noise Power Ratio)
- Le NPR augmente avec la résolution de l'ADC



Avantages/ inconvénients des SDR

	Avantages	Inconvénients
RX	•Dynamique élevée •Démodulation des signaux et filtrages performants •Accès à des récepteurs panoramiques à coûts dérisoires pour la fonction rendue •Fonction possible d'analyseur de spectre	•Choix à faire entre latence et performances(selon puissance PC) •Réjection des fréquences images (SDR QSD) •Sensibilité aux boucles de masse (SDR QSD type A1)
RX+TX	•Evolution facile de la radio (fonctionnalités, performances, …) •Facilité de connexion CAT •Excellent rapport Qualité-prix en particulier pour le récepteur (sensibilité, dynamique et fonctionnalités offertes par logiciel)	•Réjection des fréquences images (SDR QSD) délicate •Nécessité de retouche des réglages si changements de fréquence importants et exigences de forte réjection •Peu de solutions autonome sans PC (aujourd'hui)
TX	Grande capacité d'interfaçage entre les logiciels et le TX (logiciel de contest, génération de macros, …)	•Annulation de la fréquence de l'oscillateur et de la réjection (QSD) complexes •Bruit de phase excessif si l'émission n'est pas soignée, gênant à haut niveau

Et pour ceux à qui sont en manque de boutons





Conclusion

La technologie numérique des SDR est sans aucun doute la technologie émergente

Les SDR permettent aux logiciels de remplir à coût bien moindre et avec des performances beaucoup plus élevées des fonctions assurées autrefois par du hardware. De plus, de nouvelles fonctionnalités peuvent apparaitre au fil des mises à jour logicielles.

Parmi les 3 principales architectures, celle (A1) utilisée par le Softrock ou équivalent donne accès pour un (tout) petit prix à des performances dignes des meilleurs appareils

Les récepteurs SDR se prêtent bien à des usages variés (récepteur complet, adaptateur panoramique, analyseur de spectre, …)

Essayer un SDR, c'est l'adopter !



Merci à tous !

Merci Denis !

Merci Arnaud !



Bibliographie

Software Defined Radio Handbook - Rodger H. Hosking – Pentek
Quadrature signals : complex, but not complicated – Richard Lyons
Fast Fourier transforms - Walt Kester
Digital Down Conversion SDR receivers compared - Marco Bruno IK1ODO
Sites des constructeurs de SDR
Sites des fabricants de composants (Analog Devices, …)
Une synthèse en allemand sur les SDR
:http://www.darc.de/uploads/media/Was_muss_soll.pdf