



Présentation et mise oeuvre du SDR "Software Radio" ou Radio Logicielle

Christian BARTHOD cbarthod@gmail.com

F8GHE

Version du 18 juin 2014

© 2006 Hewlett-Packard Development Company, L.P.
The information contained herein is subject to change without notice

Sommaire

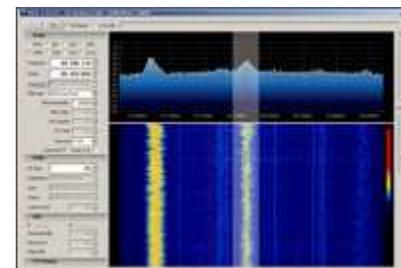
Approche théorique du concept

- L'histoire
- Le concept de la radio et la naissance du SDR
- Information sur la radio cognitive
- Le SDR à conversion directe du signal RF
- Le SDR à conversion indirecte du signal RF vers la bande de base (Taylor SDR)



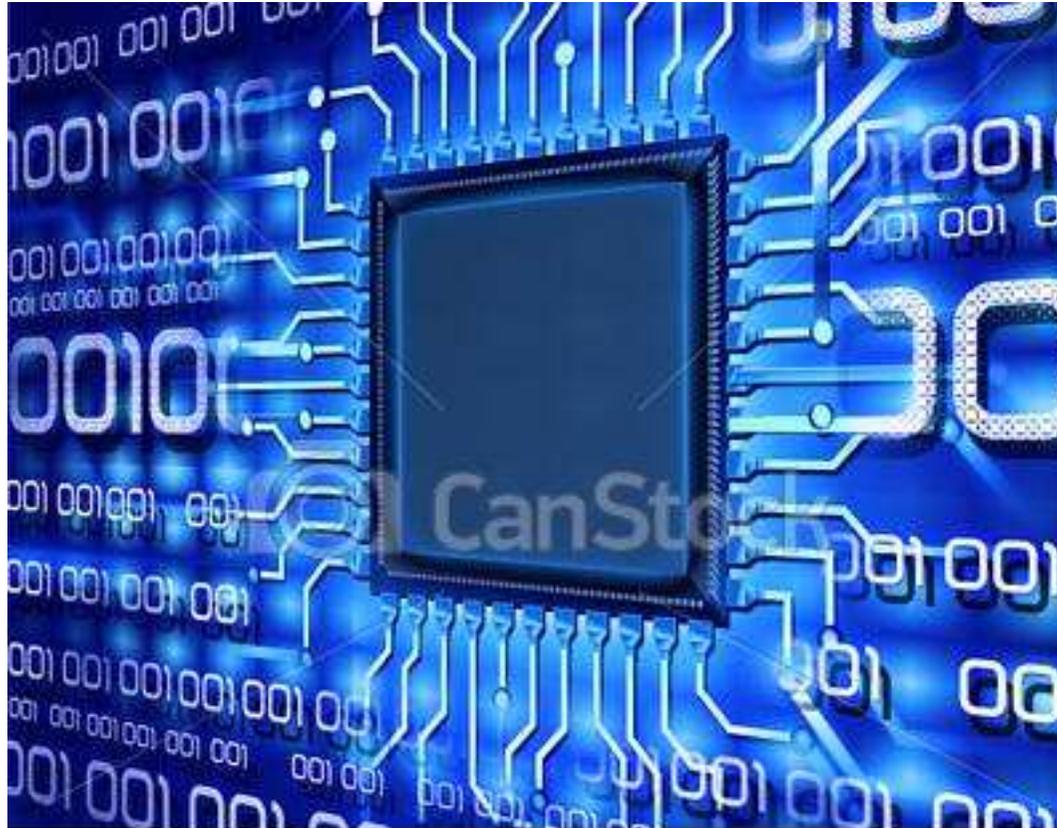
Expérimentation et mise en œuvre du SDR

- Le WebSDR
- Utilisation d'une clé USB TNT
- Réalisation d'un Front-End I/Q RX puis RX/TX
- Recherche d'un TRX à conversion directe
- Pistes d'amélioration



Liens web et autres informations

Approche théorique du concept SDR



© Can Stock Photo - csp5323869

Le contexte de la présentation



Pour dessiner un poste de radio, prenez un haut-parleur et une antenne, entre les deux posez des transistors et des bobines et des transformateurs et des diodes et des condensateurs. C'était la façon de faire à l'ancienne.

Aujourd'hui, on garde l'antenne, on utilise les haut-parleurs du PC (ou mieux si possible), et on écrit quelques équations. Ces équations seront appliquées par un traitement numérique du signal (DSP). Voilà la radio définie par le logiciel. Si on a besoin d'un filtre réjecteur, on le définit par sa fréquence centrale et sa pente ; le DSP exécute, à quelques hertz près. Le traitement numérique permet aussi bien de moduler la réponse BF que de rejeter les émetteurs voisins ou de s'affranchir du fading. Presque tout est fait par du logiciel, mais il faut quand même un peu de matériel.



Le contexte de la présentation



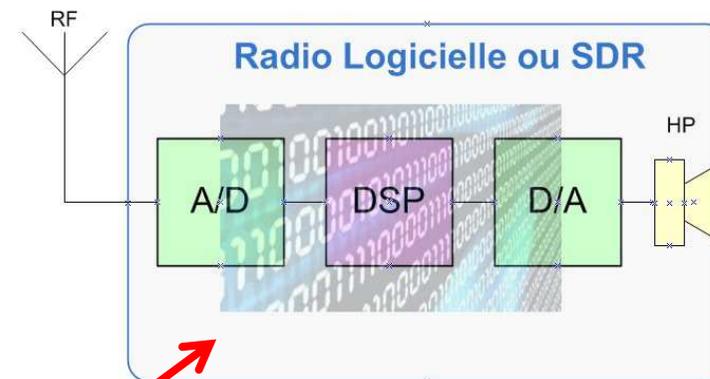
Les émetteurs et récepteurs radio dont le traitement du signal (Filtrage, démodulation, décodage, ...) est réalisé numériquement (Sous forme digitale) à l'aide de programmes informatiques tournant dans des circuits spécialisés (ASIC) ou sur PC. On parle alors de **Radio Logicielle** ou encore de **SDR** (**Software Defined Radio**)

```
/* frequency response of a 2 trans...
zfreq(b, a, N, Fs, whole)
{
    local f, cascade;

    /* check args */
    (b, a, N, Fs, whole, cascade) = zfreq_pa

    if (cascade) {
        /* bi-quad cascade form */
        f = zfreq_cascade(b, N, Fs, whole);
    }
    else {
        /* double samples, integrate over
        (whole) N *= 2;
    }

    /* check form of a
    if (a[1] != 1.0) {
        /* assume coefficients in differ
```



C'est donc ce qui nous intéresse dans cette présentation !

Historique du SDR



Années 70 : Projet militaire **SPEAKeasy** initialisé afin de palier aux problèmes d'incompatibilités entre les moyens de communication des différentes branches de l'armée américaine. Numérisation de la bande VLF stations de base et des terminaux.

Idée → Développer le système radio universel multi-service, multi-standard, multibande, reconfigurable et reprogrammable pour tenir compte de l'évolution des normes et des applications visés. Emergence de la notion de **réseau « ad hoc »**

Finalement en **1994**, une démonstration fut faite qui révéla la réussite du projet. Le problème était l'encombrement de l'équipement puisque celui-ci occupait tout l'arrière d'un camion et sa complexité de conception (il intégrait plusieurs centaines de processeurs). Il a été conçu pour être un système multibandes dans une gamme de 2 à 400 MHz.

En 1991 : Le consultant scientifique américain **Joseph MITOLA** qui a travaillé en temps que « Program Manager » pour la défense américaine, a été « Directeur Technique » chez Harris et Advanced Decision System (A beaucoup appris sur l'intelligence artificielle), est passé chez ITT, IBM (Fortran, etc.)



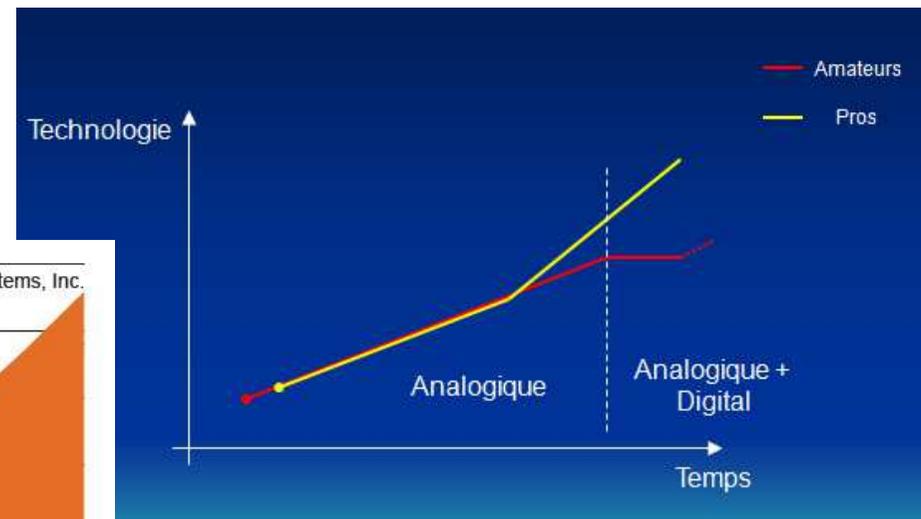
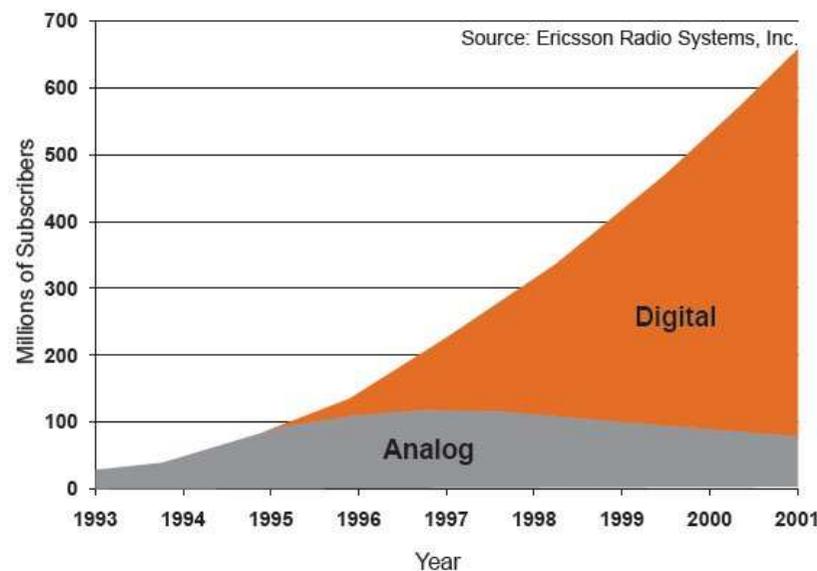
- Lança l'idée d'appliquer ces découvertes au civil
- S'est finalement spécialisé sur le **SDR** et la **Radio Cognitive**



L'incursion du concept dans le temps

Une « révolution » déjà bien mature !

Et jusque dans les Transceivers amateurs... **enfin** 😊!



Domaines d'incursion du SDR

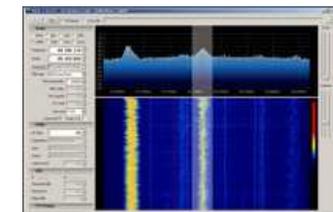
Militaire (Rubis, Saphir, Programme européen ESSOR)

Professionnel (Acropol, Antares, Tetra,..)

Civile et grand public (TNT, GSM, ..)

Amateur (Oui mais encore beaucoup de retard ☹!!)

<http://bruno.kerouanton.net/blog/2008/09/15/d>





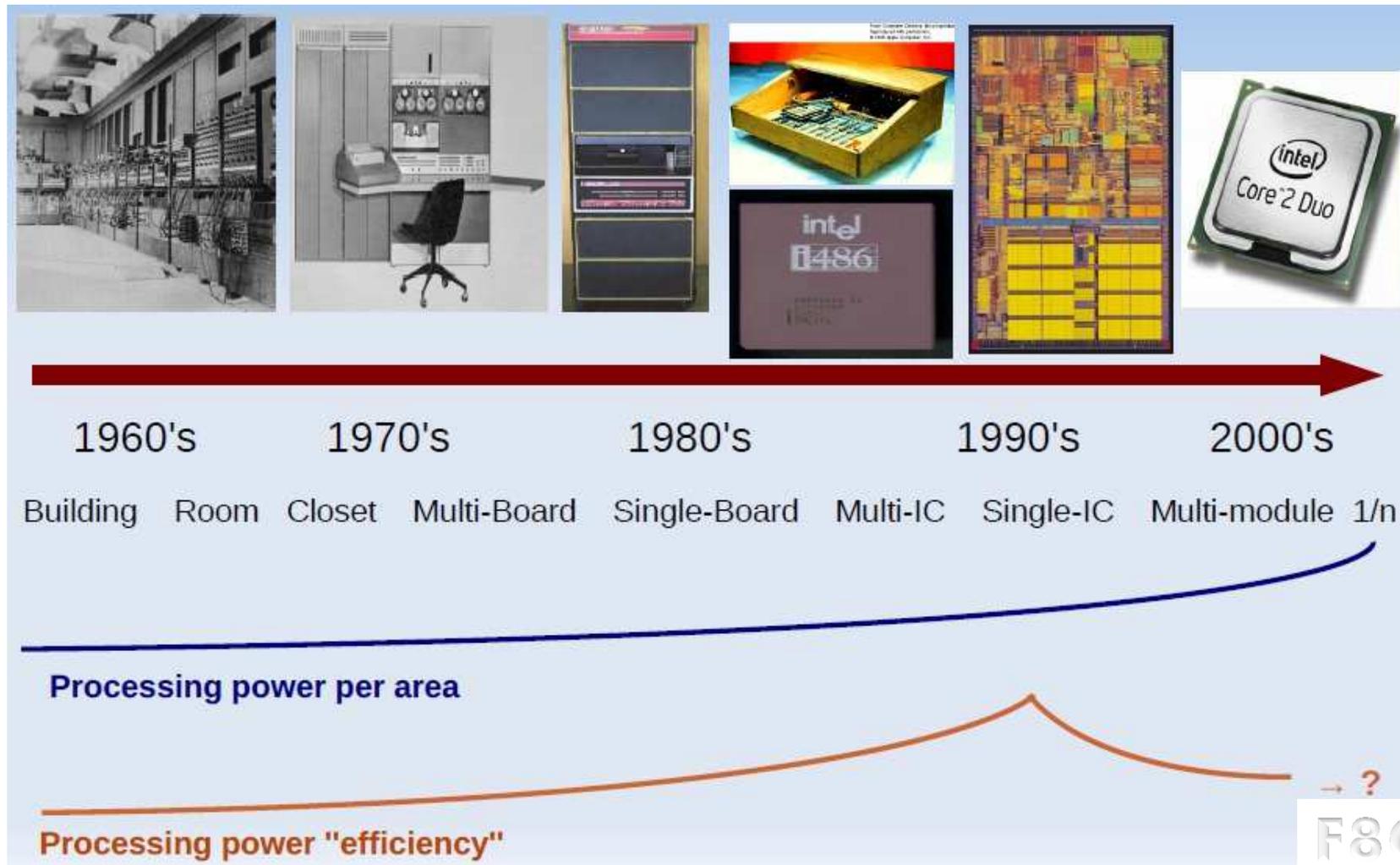
Quelques confusions à éviter

- **SDR** = CAT (Computer Aided Transceiver) ? **FAUX** Le CAT est une interface de commande d'un transceiver à l'aide d'un PC. Le SDR n'est donc pas une radio conventionnelle connectée à un PC via une interface de type RS232, Ethernet ou USB. Le « transceiver » restant une entité indépendante, toujours fonctionnelle sans le PC (Ham Radio Deluxe, TRX Manager...)
- **SDR** = Ordinateur indispensable ? **FAUX** (Encore une fois, un GSM est un SDR !)
- **SDR** = Meilleure qualité de communication ? **VRAI** et **FAUX** (Qualité plus constante qu'en analogique mais décroissance abrupte)
- **SDR** = WebSDR ? **VRAI** et **FAUX** (C'est effectivement du SDR mais pas restrictif à cela)
- **SDR** = Porteuse modulée par signal numérique ? **VRAI** et **FAUX** (Vrai pour le GSM, la TNT mais pas obligatoire)
- **Digital** = Plus de communications vocales ? **FAUX** (Un GSM est un SDR !)
- **Digital** = Moins de QRM dans un RX ? **VRAI** (La techniques digitales facilitent les opérations autrefois analogiques et le traitement du signal par le cerveau (DSP))
- **Digital** = Versatile ? **VRAI** (Un software est plus facile à modifier que du hardware
Un très gros avantage du SDR)



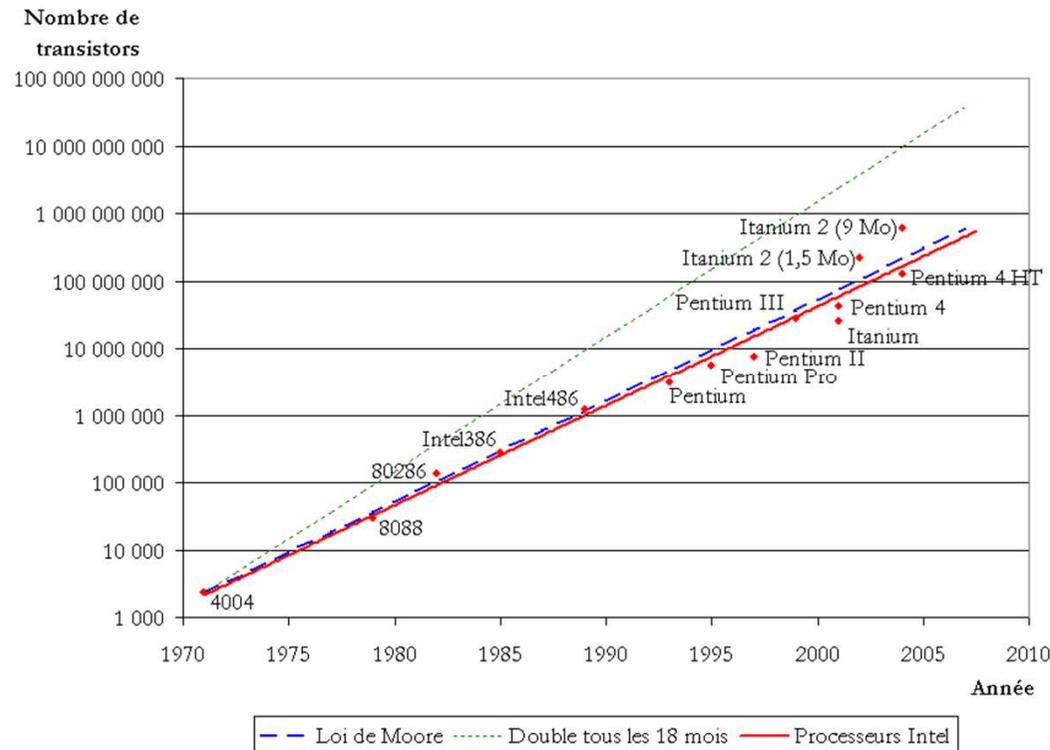
L'évolution de la techno numérique

Et particulièrement la miniaturisation de l'informatique !!





L'évolution de la puissance de calcul



1972	Cray	166 Mega flops			
1985	Cray		1 à 2 Giga flops		
2005	HP			50 Tera flops	Calculateur du CEA en 2005
2010	Chinois				2,5 Peta Flops
2011	µproc Intel			1 Tera Flops	Equivalent à 10000 Proc en 1997

Le cerveau humain

1 Peta Flops (A titre de comparaison)

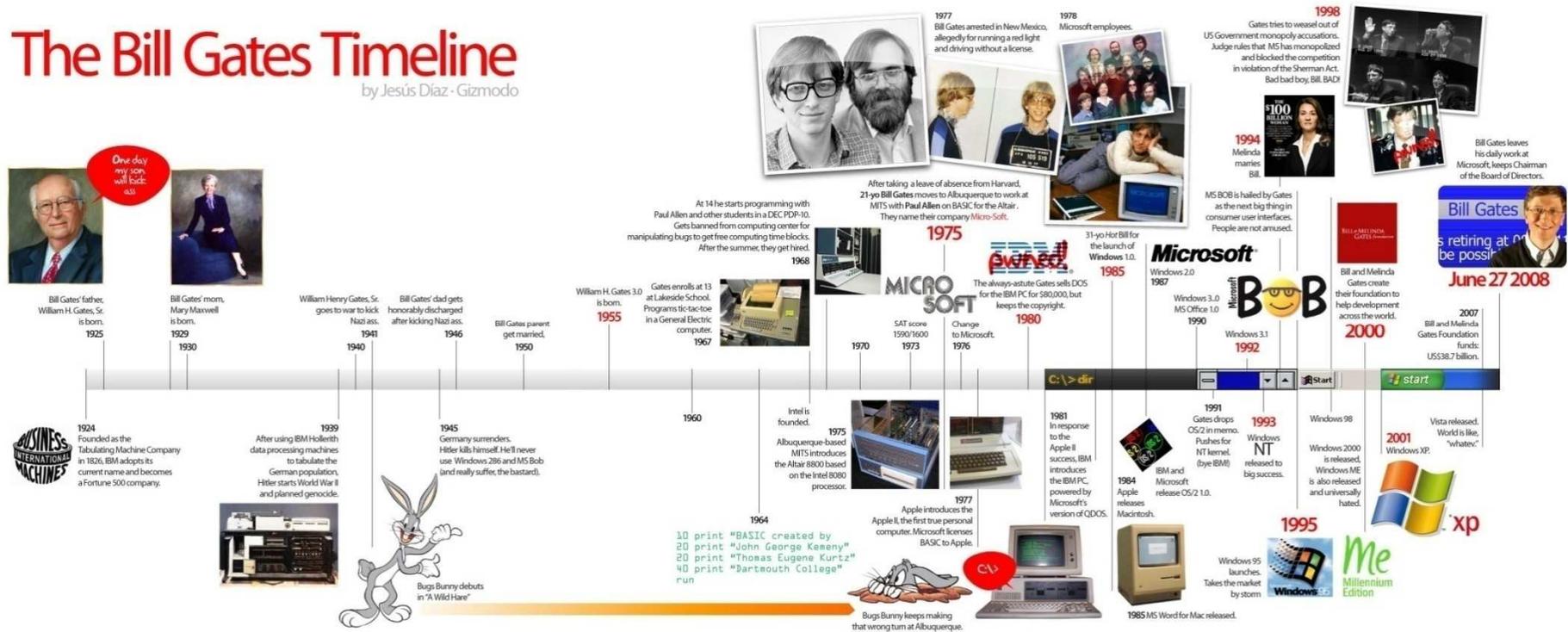


L'évolution de la micro-informatique

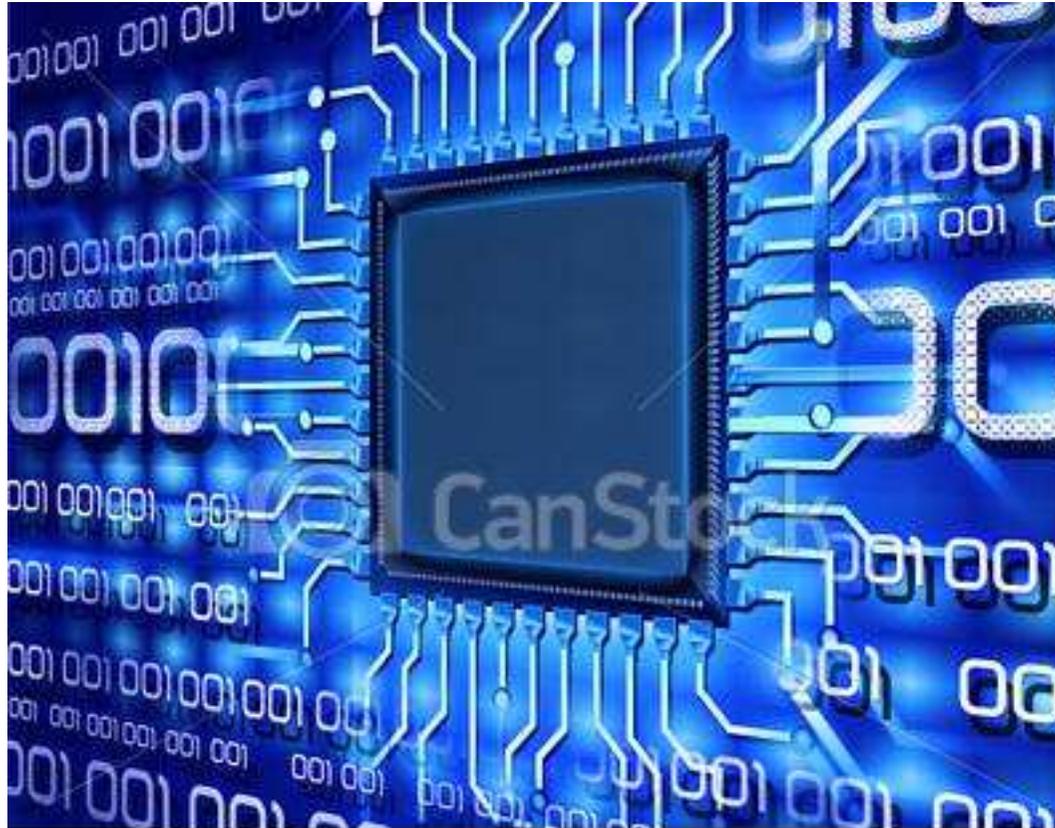
Egalement due à l'évolution des OS (Windows, Unix, Linux,)

The Bill Gates Timeline

by Jesús Díaz · Gizmodo



Le concept de base du SDR

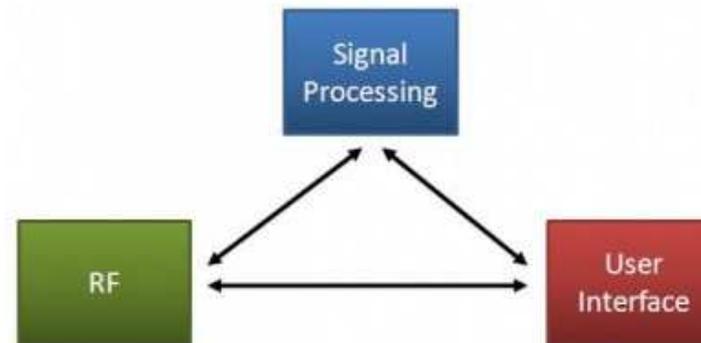


© Can Stock Photo - csp5323869



Approche conceptuelle d'une radio

Les 3 composants (Blocs) fondamentaux d'un émetteur-récepteur (Ils sont indépendants de son type) :



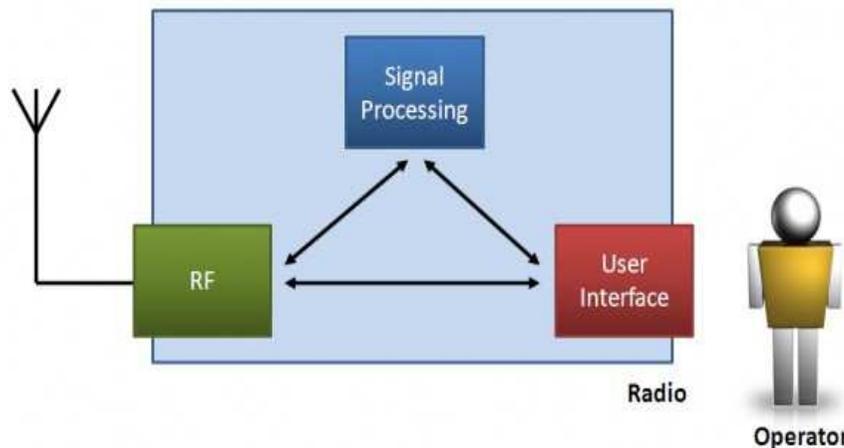
- **“RF” La partie Radio Fréquence (HF)** juste derrière l’antenne, elle convertie le signal HF vers la bande de base et vice-versa. On y retrouve des filtres, oscillateurs, mélangeurs, amplificateurs, etc.
- **“Signal Processing” Le traitement du signal** Prise en charge du filtrage, de la modulation, démodulation, du décodage et de la réduction de bruit
- **“User Interface” L’interface utilisateur** Elle permet la commande et le contrôle de la radio. Ça peut être des boutons potentiomètres, LEDs, afficheurs ou juste un écran de PC

Rq : Ces trois éléments interagissent entre eux



Déclinaison vers la radio classique

- C'est le type de transceiver que l'on retrouve (ait 😊 !?) dans nos shacks. Ce peut être un FT1000MP, un IC706 ou un Drake TR-7. Depuis ces dernières années, les caractéristiques et les interfaces ont beaucoup changées mais le concept est resté le même : **Tout dans une boîte.**
- Tous les composants sont intégrés dans une boîte. La **dépendance physique** entre les 3 composants augmente en même temps que l'augmentation du niveau d'intégration entre autre par l'utilisation de composants digitaux. Bien que certains transceivers soient pourvus d'interfaces utilisateur détachables, **elles ne peuvent interopérer** avec celles d'autres constructeurs. Le schéma suivant illustre la dépendance du concept du "tout dans une boîte" des radio classiques.



Du concept à la réalité avec le Transceiver
YAESU FT1000mp

F8GHE

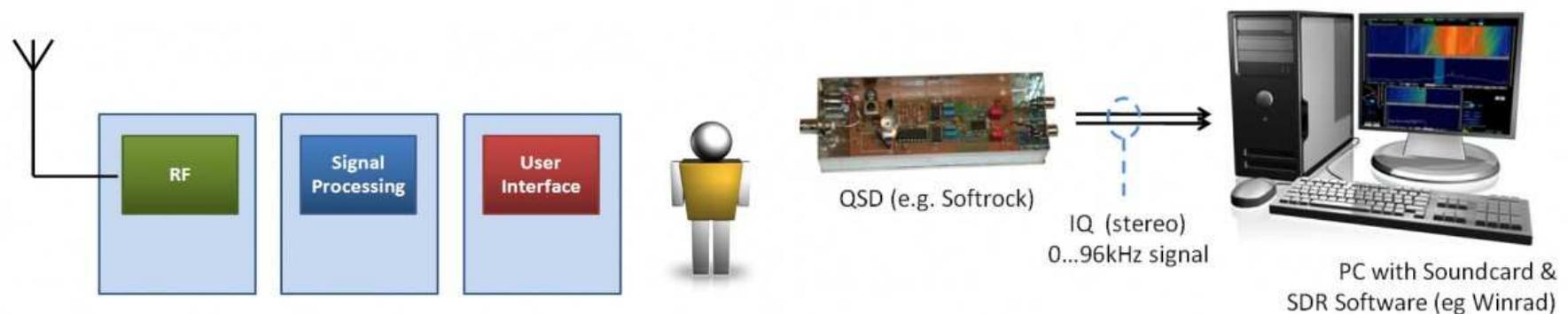


Déclinaison vers la radio logicielle

Radio logicielle ou SDR (Software Defined Radio)

Comme pour une radio classique, on y retrouve les 3 composants fondamentaux. Cependant l'énorme différence est **l'indépendance physique et logique** entre ces 3 composants

- **L'indépendance Physique** : veut dire que chaque composant peut être réalisé dans une boîte individuelle. Ils peuvent même être séparés de plusieurs milliers de kms sans dégradation de performances.
- **L'indépendance logique** : veut dire que chaque composant particulier peut être conçu et remplacé sans affecter le fonctionnement de l'ensemble. Ceci grâce au traitement du signal par software.



Du concept à la réalité avec le récepteur SDR **SOFTROCK**



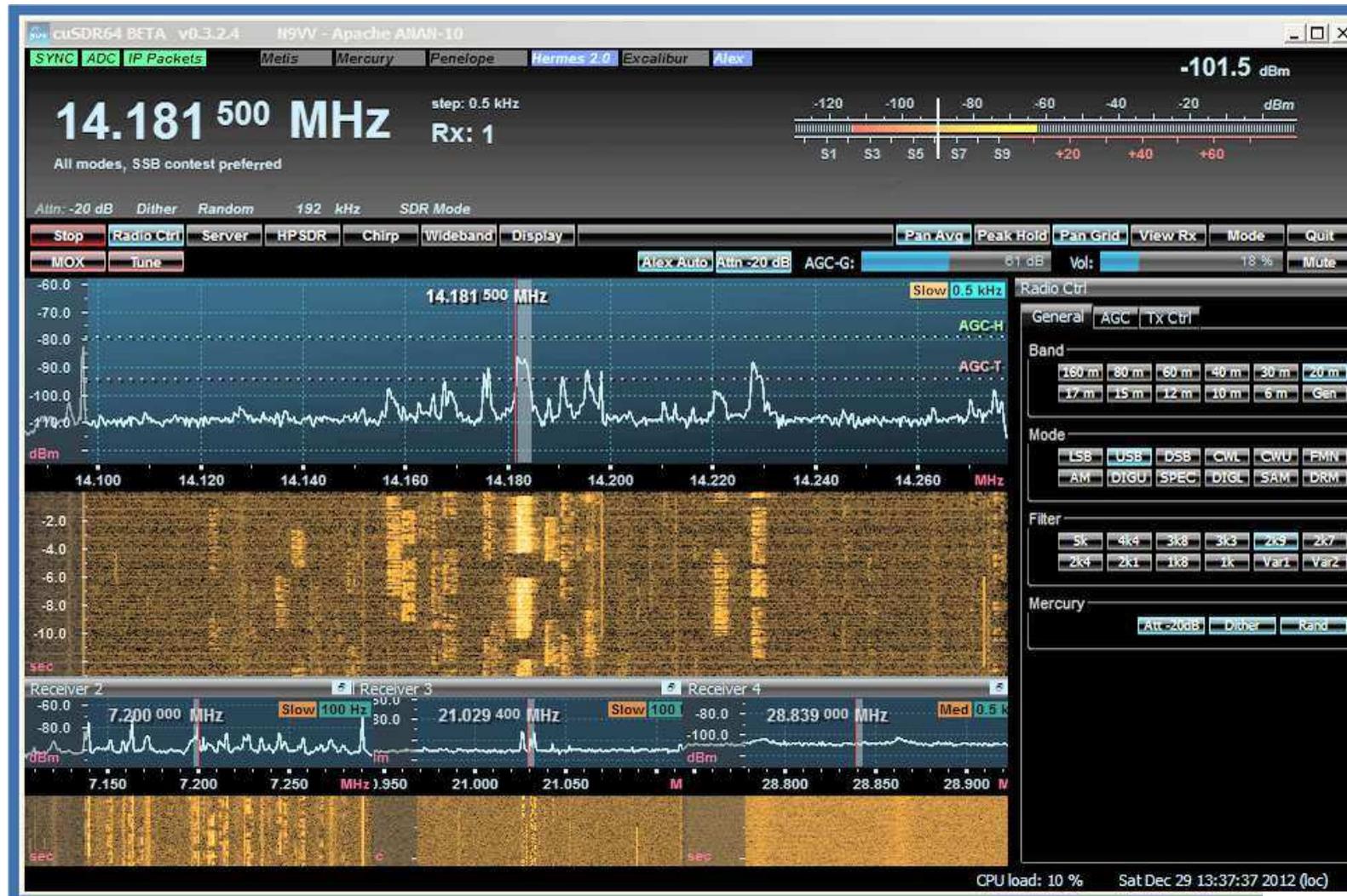
Une des interfaces du Softrock (Powersdr)

The screenshot displays the Powersdr software interface, version 1.19.0. The main window is titled "PowerSDR™/IF Stage v1.19.0 SVN: 58". The interface is divided into several sections:

- VFO A:** Shows a frequency of 14.295 000 MHz, 20M SSB mode, and a TX indicator. It includes VFO Sync, VFO Lock, and Tune Step controls.
- VFO B:** Shows a frequency of 14.265 000 MHz, 20M SSB mode, and a TX indicator.
- Spectrum Analyzer:** A central display showing a frequency range from 14.220 to 14.380 MHz. It features a waterfall view with a color scale from -140 to -60 dBm.
- RX1 Meter and TX Meter:** The RX1 Meter shows a signal level of -99 dBm. The TX Meter shows a forward power level of -99 dBm.
- Control Panels:** Includes a START button, MON/TUN, MOX, MUT, and X2TR buttons. There are also various sliders and dropdown menus for AGC, Drive, and SQL.
- Mode Selection:** A grid of buttons for selecting modulation modes: LSB, USB, DSB, CWL, CWU, FMN, AM, SAM, SPEC, DIGL, DIGU, and DRM.
- Frequency Selection:** A grid of buttons for selecting frequency bands: 160, 80, 60, 40, 30, 20, 17, 15, 12, 10, 6, 2, VHF+, WWV, and GEN.
- Transmit Profile:** A section for selecting a transmit profile (Default, Var 1, Var 2) and a checkbox for "Show TX Filter on Display".
- System Information:** Shows the date (6/16/2009), time (LOC 10:51:38), and CPU usage (24.2%).



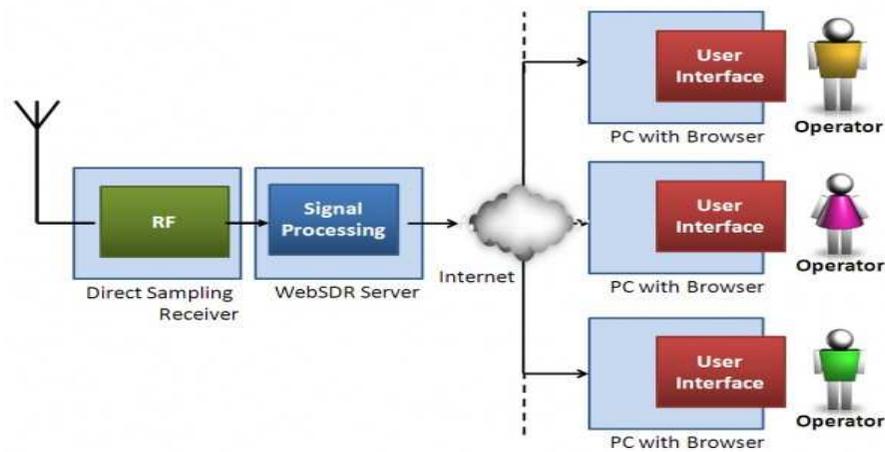
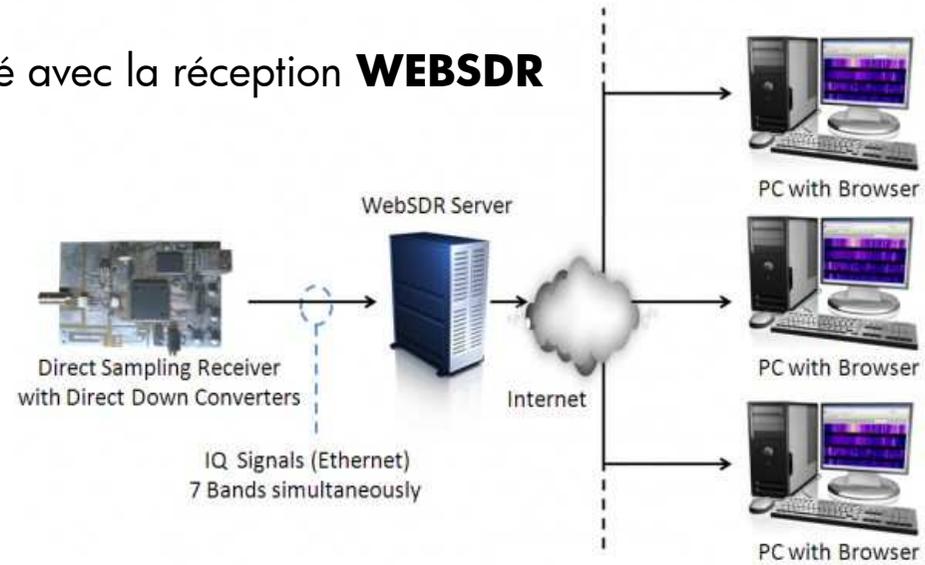
Une autre interfaces (cuPowersdr)





« Le WebSDR »

Du concept à la réalité avec la réception **WEBSDR**





Une des interfaces du WEBSDR

View:
 waterfall blind

Frequency: 14589.8 kHz
Or tune by clicking/dragging/scrollwheel on the frequency scale.

Waterfall view:
zoom out zoom in
max out band max in
Or zoom with scroll wheel on waterfall.
Move by dragging the waterfall with the mouse.

Bandwidth:
2.49 kHz @ -6dB; 2.95 kHz @ -60dB.
wider CW-wide LSB USB AM FM
narrower CW-narrow LSB-nrw USB-nrw AM-nrw
Or drag the passband edges on the frequency scale.

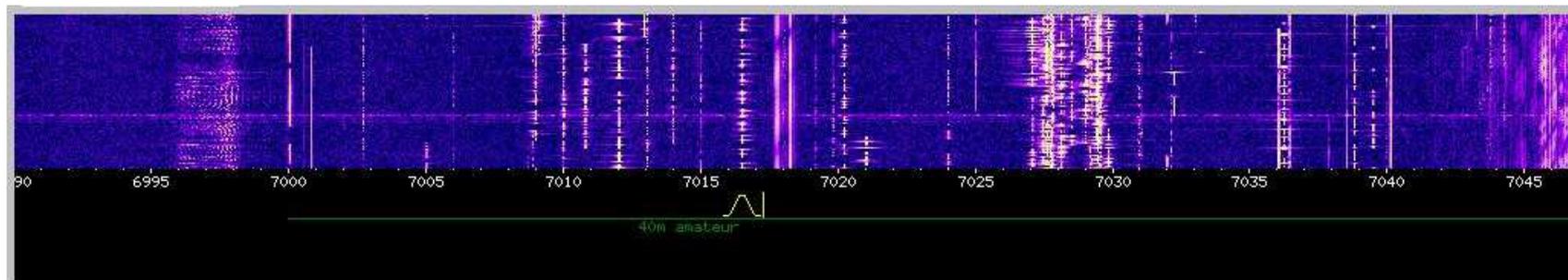
Waterfall settings:
Speed: slow medium fast
Size: small medium large
View: spectrum waterfall weak sigs strong sigs

Memories:
recall erase store (new)

Logbook:
Call of station that you hear:
Comments, if any: submit
Note: time, frequency, your name/call, and DXCC information are added automatically.
View the [last 20 lines of the logbook](#), or the [entire logbook](#) (ctrl-click for new tab/window).

Station information:
Lookup in databases:

Volume: 0





Les avantages du concept SDR 😊

- Une partie matérielle réduite au stricte minimum → TRX très petits (hors ordinateur)
- Grace à l'upgrade du software → Obsolescence du hardware réduite
- Un filtrage numérique puissant, souple, évolutif
- Une dynamique et un IP3 très élevés (Dépendante entre autre de la résolution du convertisseur A/D)
- L'implémentation par software de différents types de modulations et standards avec un seul équipement hardware
- Une détection de tous les modes classiques (AM, FM, SSB, CW), nouveaux (DRM, ...) et futurs (?,...)
- A performance égale, un prix très inférieur aux technologies « classiques »
- La surveillance de bande "d'un coup d'oeil" (Sporadique E, trafic VHF etc.), Multiréception possible
- L'étude spectrale des transmissions avec de belles surprises en termes d'étalement "involontaire"
- La possibilité d'enregistrer toute une bande et rejouer tout le trafic qui s'y est écoulé et pas uniquement une fréquence, comme classiquement
- Interface graphique évolutive et adaptable
- Une linéarité importante de la chaîne de réception (Une fois calibré avec un générateur, on dispose d'un S-mètre pour une fois précis au dBm près (jusqu'à saturation de la carte son, il y a bien évidemment des limites à tout !)
- La possibilité et le plaisir de réaliser soi-même un récepteur qui égale voire surpasse les équipements commerciaux
- Tout ce que j'oublie ...



Les inconvénients du concept SDR ☹️

- Latence (Particulièrement gênante en CW en conversion indirecte)
- Fréquence image (Avec la conversion indirecte du signal RF vers la bande de base)
- Cout supplémentaire par le besoin d'un PC (A ajouter au cout total du TRX)
- Limitations dues à certains composants pas encore disponibles à un cout raisonnable
- « L'apport en émission peut être à relativiser !? Le vrai plus reste dans la réception

Malgré cela c'est la solution d'avenir très prometteuse avec l'évolution permanente des composants et de l'informatique

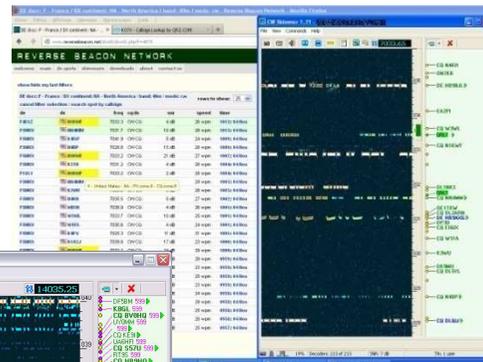
Equipement multifonctions, évolution par mise à jour, adaptable aux évolutions des standards, connexion aux applications diverse (Décodage, etc.) par liaison virtuelle (Plus besoin d'interface physique) et ouverture a tout un tas de possibilité uniquement limitées par l'imagination !



Exemple d'interconnexion

Interconnexions avec d'autres applications simplifiées (décodage, modes numériques, etc..) : Plus besoin d'I/F car virtuelles

Exemple avec SDR, CW skimmer et RFBeacon <http://www.dxwatch.com/>
<http://f5mux.over-blog.com/article-1-ere-experience-sdr-cw-skimmer-et-rbn-112087258.html>



showing spots for spotter call: FSMUX
send a spot / search spot by callsign

de	dx	freq	obs	time
FSMUX	NP3CW	7030.0	[LoTW]	2151z 01 Nov
FSMUX	F/TUSKG	24951.0	loud on my sdr wkd WB	2218z 30 Aug
FSMUX	KH6LC	14035.0	[LoTW]	1048z 26 Aug
FSMUX	CO6HLP	14083.0	RTTY NAQP	2332z 21 Jul
FSMUX	YB1HK	14081.2	[LoTW] RTTY	2110z 21 Jul
FSMUX	F6KNB	3753.5	[LoTW] Dept. 33	2002z 25 Feb
FSMUX	F6KHM	3737.0	[LoTW] Dept 29	1959z 25 Feb
FSMUX	K6YRA	28490.0	[LoTW] 55 indoor telescopic ant !	1708z 24 Nov
FSMUX	KP2NT	24946.0		1547z 17 Nov
FSMUX	TKSUX	7007.0		1601z 02 Sep
FSMUX	TKSUX	21017.0	25 W ant on the beach !	1418z 27 Aug
FSMUX	TKSUX	18070.0	25W on the beach !	1019z 26 Aug

Donc, si l'on résume

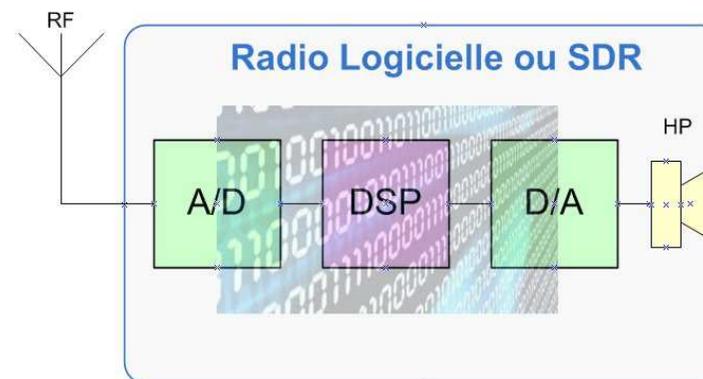


Traditionnellement, les récepteurs radio sont construits en utilisant des composants analogiques comme des condensateurs, des selfs, quartz, pour filtrer ; des diodes pour détecter des transistors et tubes pour amplifier.

Grâce à la **conversion Analogique Numérique** du signal, une partie du traitement peut être remplacé par un **programme** qui va traiter ce signal par **calcul** et la radio devient par le fait une radio logicielle.

Une radio SDR ou logicielle devra donc **implémenter le logiciel au maximum**. De ce fait une telle radio devrait en principe être plus performante qu'une radio analogique classique car les filtres sont plus pointus car plus proche de l'idéal pour avoir de très bonnes pentes en vue d'obtenir une réjection maximum des signaux non désirés. Impossible à faire en analogique.

Idéalement, il faudrait pouvoir réaliser un récepteur avec **juste un excellent convertisseur A/N** connecté directement à l'antenne et ensuite un **puissant calculateur** puis finalement un **convertisseur N/A**. A l'état actuel de la technologie ce n'est pas encore difficilement faisable. Les circuits disponibles ne sont pas encore capables de traiter l'ensemble du spectre de 0...30 MHz avec suffisamment de dynamique. Ce qui fait qu'il y a (malheureusement) toujours besoin de composants et circuits analogiques.



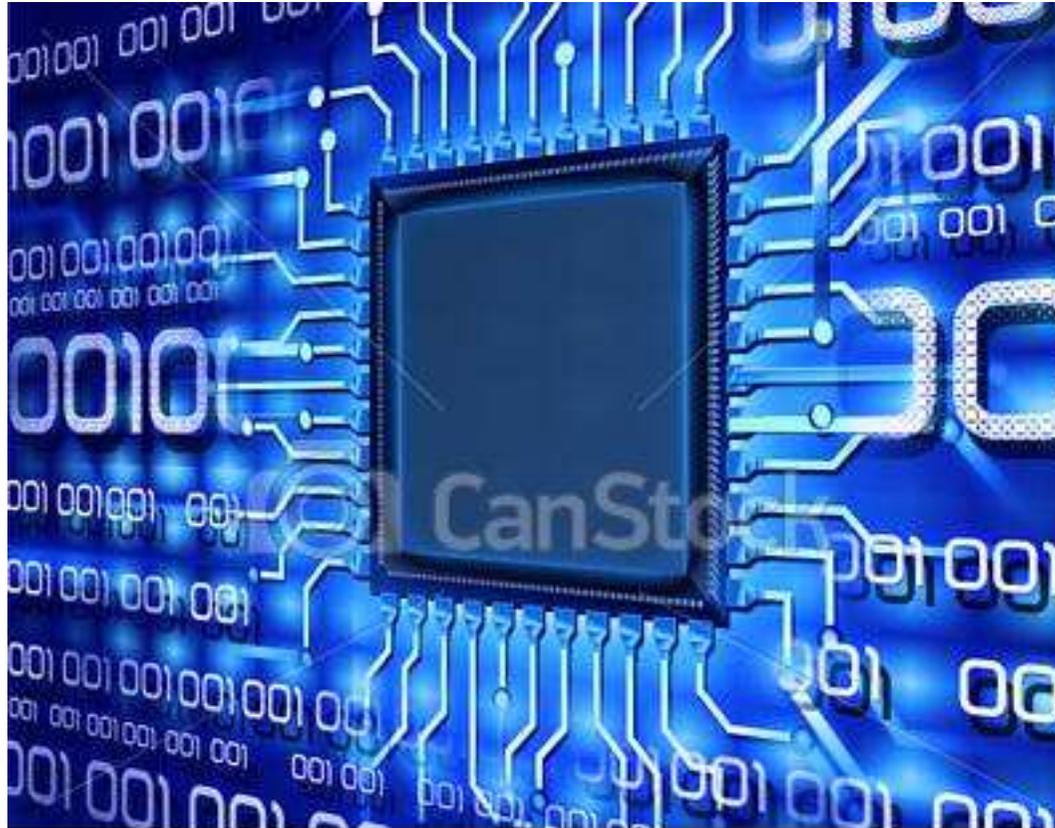


Une radio logicielle est caractérisée

- Par l'utilisation de la **technologie numérique** sous forme d'ASIC & de logiciel (PowerSDR, SDRMAX, Rocky, SDR#, HDSDR,...) pour ce qui concerne le mélange, le filtrage, la démodulation, l'interface humaine, etc....
- Par son **interopérabilité et sa souplesse**. En modifiant ou en remplaçant simplement les programmes, on peut changer complètement ses fonctionnalités. Cela permet d'installer facilement de nouveaux modes et d'améliorer les performances sans la nécessité de remplacer le matériel. Une SDR peut aussi être aisément modifiée pour adapter les nécessités opératoires des applications individuelles. Il y a une différence essentielle entre une radio qui emploie des logiciels internes pour certaines de ses fonctions, et une radio qui peut être complètement redéfinie par la modification des logiciels. Cette dernière est une radio définie par logiciel, soit une SDR.
- Par une **plateforme matérielle minimaliste**. Traitement analogique réduit au strict minimum. La qualité du SDR en est donc très fortement dépendante du logiciel.

➔ Encore une fois ! Ce concept a été rendu possible grâce à l'évolution de la technologie numérique !

Parenthèse sur la radio cognitive



© Can Stock Photo - csp5323869



Du concept SDR à la radio cognitive

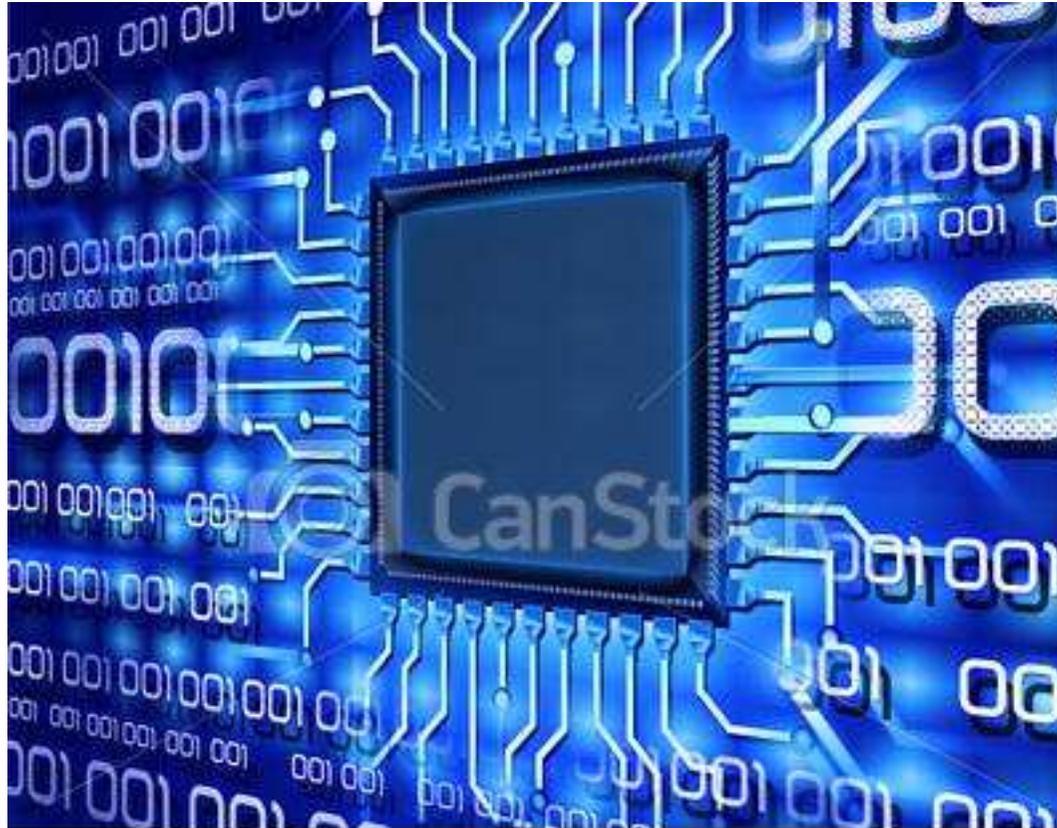
Concept introduit par J. Mitola en 1999. **La radio cognitive** est décrite comme l'approche qui permet aux objets communicants et à leurs réseaux associés d'intégrer l'intelligence nécessaire à la prise de conscience des besoins de l'utilisateur.

Le cycle cognitif s'appuie sur les six phases suivantes :

1. **Observe** : Prendre conscience de l'environnement par la capture de métriques.
2. **Orient** : Classer les métriques par priorités et aiguiller le traitement (normal, urgent, immédiat).
3. **Plan** : Planifier les meilleures configurations possibles suivant les métriques observées.
4. **Decide** : Allouer les ressources.
5. **Act** : Agir en effectuant la reconfiguration de l'équipement.
6. **Learn** : Apprendre des échecs ou des réussites des précédentes reconfigurations.

Ceci n'était qu'une parenthèse, en effet la radio cognitive est un peu comme la boîte automatique de la voiture qui enlève en partie le plaisir de la conduite 😊 !

La classification des radios SDR



© Can Stock Photo - csp5323869



Modèle de Classification des SDR



Classification de F4DAN <http://f4dan.free.fr/>

- **Sampling method** – is the sampling made on a « complex » (I/Q) signal (quadrature sampling), or on a « real signal » ?
- **Sampling device** – which kind of device is used to make sampling ? Sound card, dedicated ADC, etc. ...
- **Analog Mixing** – is there an analog mixing device before sampling ? If yes, what is its type ?
- **Digital channel selection** – does the SDR allows a digital channel selection ? If yes, how is it made ?
- **SDR control** - how is controlled the SDR ? Through USB, Ethernet, Serial, etc. ...
- **Digital samples transfer** - how are transfered digital samples to the host PC (if any) ? Through USB, Ethernet, etc.

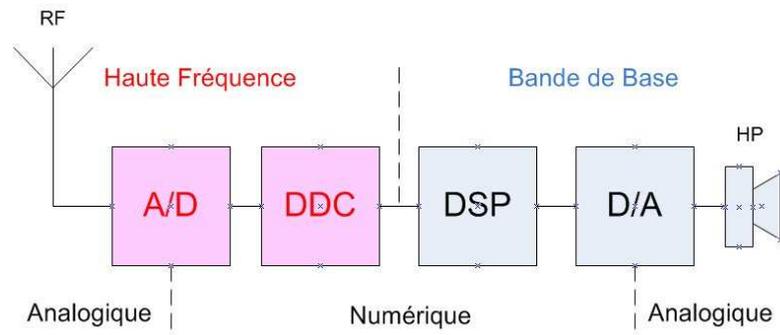
On peut déduire de cette classification les deux architectures suivantes :

- SDR à **conversion Directe** du signal RF (DDC/DUC) = le concept SDR idéal (dit de génération 3)
- SDR à **conversion Indirecte** du signal RF (Tayloe-SDR, QSD, Phasing Receiver, homodyne, Zero-IF)
(Conversion de la quadrature I/Q par l'ajout d'une FI en bande de base)



Les 2 classes principales de SDR

- **A conversion directe du signal RF** : Cette solution pas toujours réalisable à un prix acceptable pour une application commerciale !! Particulièrement pour des fréquences supérieures à 50Mhz (3Ghz chez les militaires)



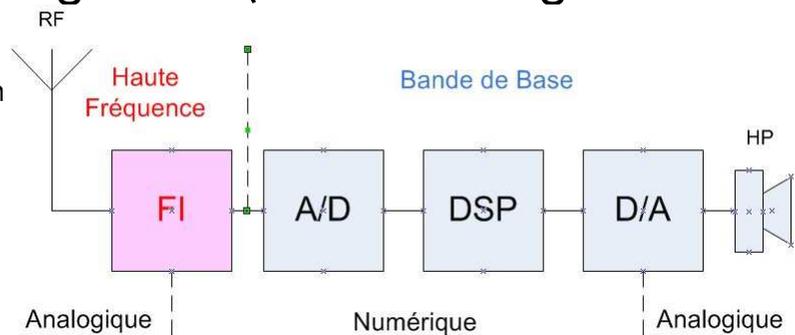
Concept récepteur SDR idéal car pas de FI Analogique mais:

- Besoin d'un convertisseur A/D à haute fréquence d'échantillonnage → Couteux
(En 2007 un ADC ne pouvait traiter que des fréquences inférieures à 20mhz)
- Besoin d'un CPU haute vitesse pour traiter la haute fréquence d'échantillonnage → Très couteux et consommateur d'énergie

$$f_e > 2 \cdot F_{\max}$$

- **A conversion indirecte du signal RF (Echantillonnage I/Q ou Tayloe-SDR) :**

Cette solution consiste donc à passer par une FI en bande de base avant la conversion A/D réalisée par une carte son

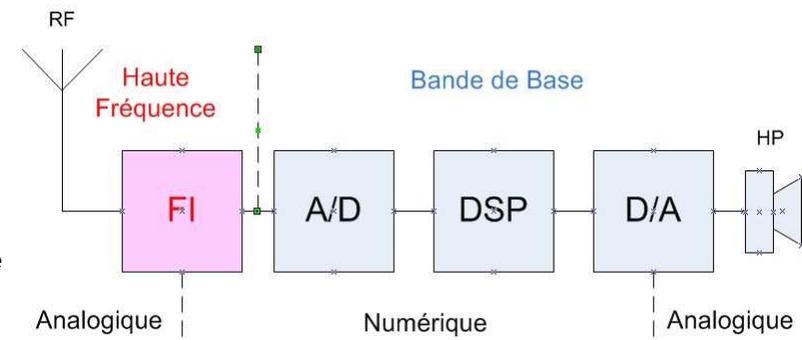




Les 2 classes principales de SDR

A conversion indirecte du signal RF (Quadrature Signal Detector I/Q ou Taylor-SDR) :

Cette solution consiste à convertir la HF directement vers la bande de base en passant par une FI et de détecter les signaux I/Q (On parle de QSD) avant leur conversion A/D généralement réalisée par une carte son (Entrée G pour Q et Entrée D pour I). Ce n'est donc pas la solution idéale (A cause de la FI) par contre elle a l'avantage d'être bon marché et simple pour l'expérimentation.



A conversion directe du signal RF : Cette solution pas toujours réalisable à un prix acceptable pour une application commerciale !! Particulièrement pour des fréquences supérieures à 50Mhz (3Ghz chez les militaires)

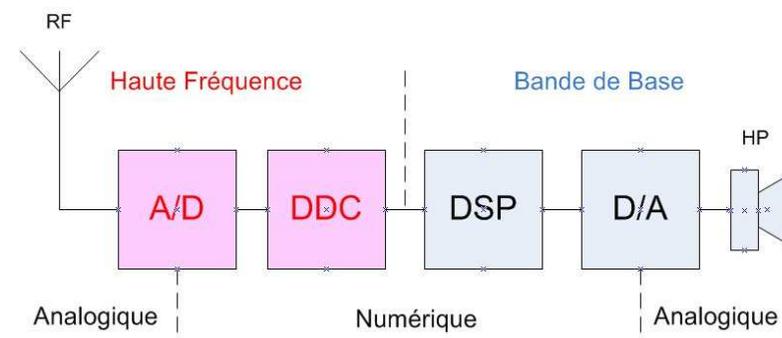
Ce concept de récepteur SDR est le concept idéal car pas de FI Analogique mais :

1. **Besoin d'un convertisseur A/D à haute fréquence d'échantillonnage**

→ Couteux (En 2007 un ADC abordable ne pouvait traiter que des fréquences inférieures à 20mhz). Sachant que d'après le Théorème de Shannon la fréquence d'échantillonnage f_e doit respecter : $f_e > 2 \cdot F_{max}$

2. **Besoin d'un CPU haute vitesse pour traiter la haute fréquence d'échantillonnage**

→ Très couteux et gros consommateur d'énergie



SDR à conversion indirecte du signal RF

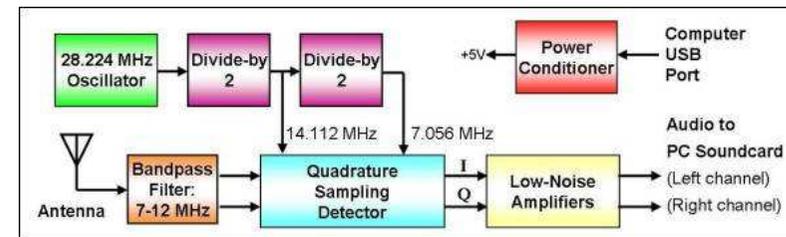
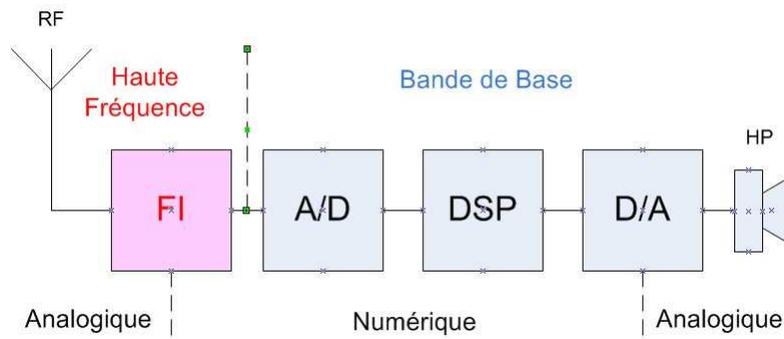
(FI en bande de base avant convertisseur A/D par carte son)



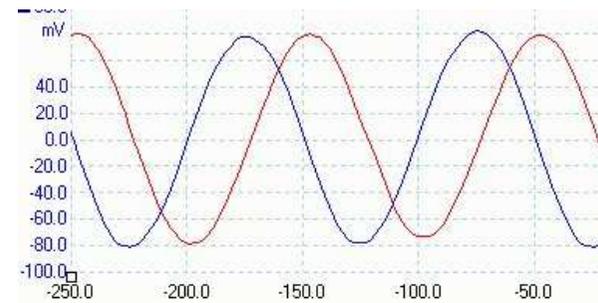
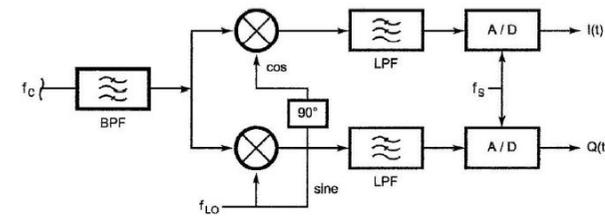
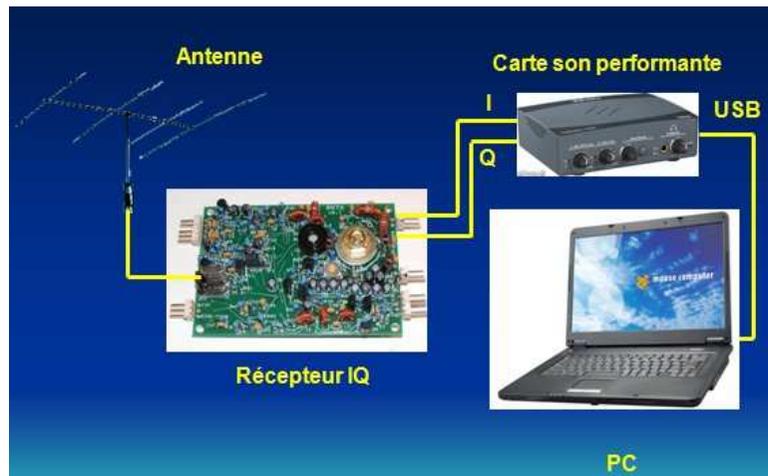
© Can Stock Photo - csp5323869



Principe du Récepteur à CI (ou Tayloe-SDR)



Ce n'est pas la solution la plus simple à comprendre et la plus efficace mais c'est la bonne solution pour s'initier à la construction du d'un « FrontEnd » SDR





Techniques mises en jeux pour la CI

Communes avec l'analogique

- Filtrage analogique (Présélecteur, filtre passe-bas..)
- Amplification (LNA)
- Mélangeur vers Band de Base (Zero-IF)
- Amplification Audio
- Amplification HF



Spécifiques au SDR de Tayloe

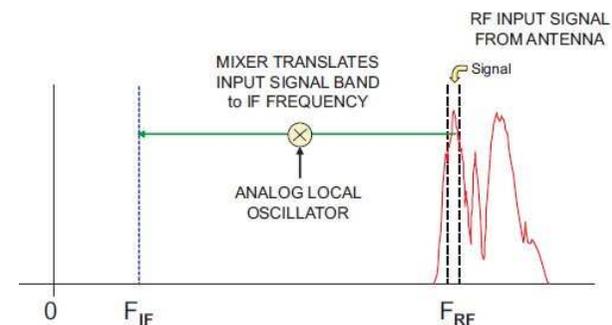
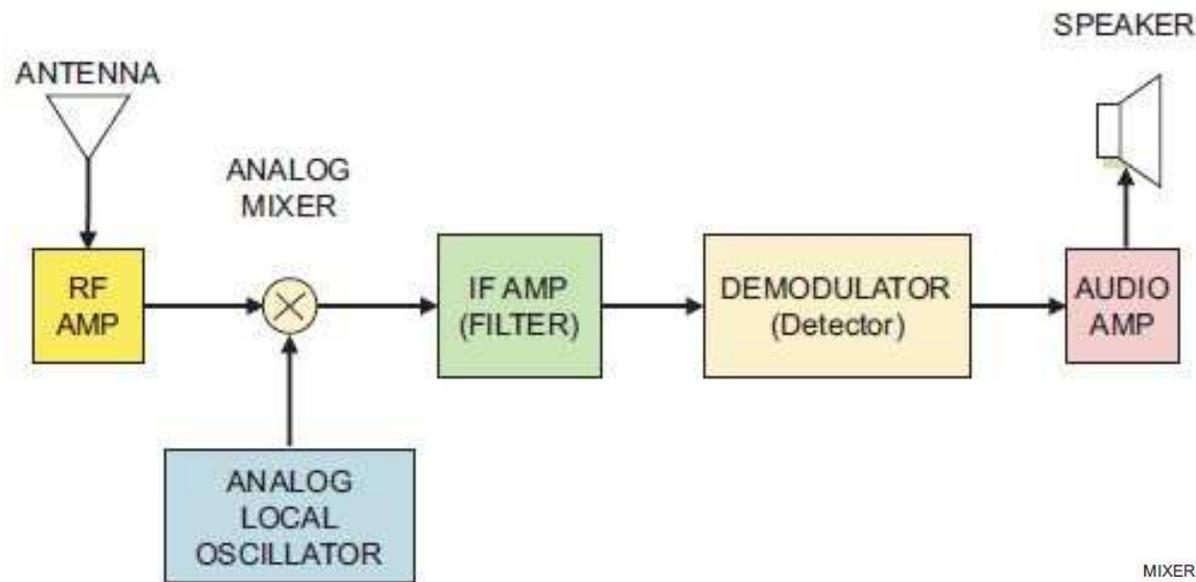
- Génération des signaux I/Q = **Détecteur de Tayloe**
- Convertisseur Analogique/Numérique (**CAN** ou **A/D**) = **Carte SON**
- Convertisseur Digital/Analogique (**CNA** ou **D/A**) = **Carte SON**
- Processeur de Traitement du Signal (**DSP**) sous forme de Software (Logiciel)
(Transformée en Z, de Fourier, Filtrage numérique, Modulation et démodulation numérique, signaux I/Q.)

```
class Program
{
    static void Main(string[] args)
    {
        Console.WriteLine("R1");
        Console.WriteLine("Hello");
        Console.WriteLine("Hello");
        Console.WriteLine("Hello world! ___"); ;
        Console.WriteLine("Hello+Fix");
    }
}
```



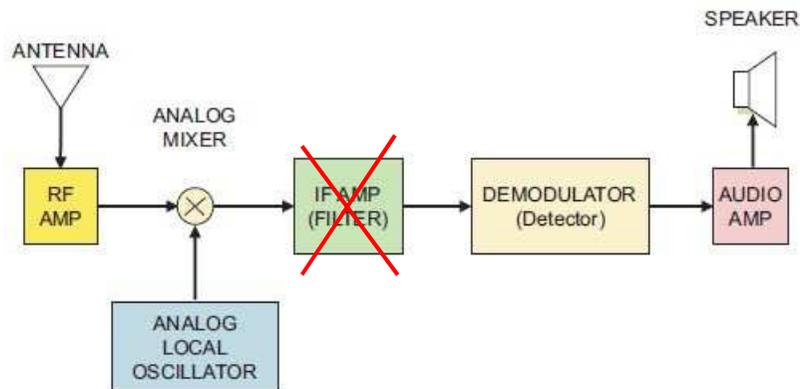
Rappel : Le récepteur Superhétérodyne

Bloc diagramme du récepteur analogique
Superhétérodyne (Avec FI)





Rappel : Le récepteur homodyne



Récepteur **Homodyne** ou **synchrodyne**
ou à **conversion directe (Zero IF)**

- Le **Direct-Conversion Receiver** (DCR), aussi connu comme **homodyne**, **synchrodyne**, or **zero-IF receiver**, est un design de radio qui démodule le signal RF en utilisant un mélangeur piloté par un oscillateur local ayant une fréquence identique (ou presque) à la porteuse du signal à recevoir. C'est la différence avec le récepteur standard superhétérodyne qui accompli ceci seulement après une conversion initiale vers une intermediate frequency.

Récepteur analogique à conversion directe

- Pas de FI
- Conception très simple
- Remis au gout du jour avec le détecteur de Quadrature de Tayloe à Conversion indirecte du signal RF (FI avant conversion A/N)



Conversion Analogique/Numérique

Echantillonnage (sampling)

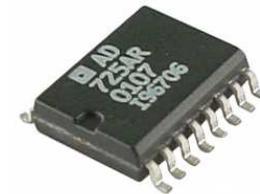
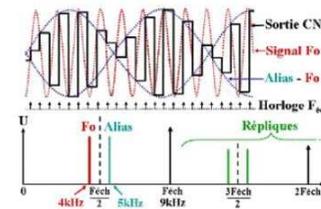
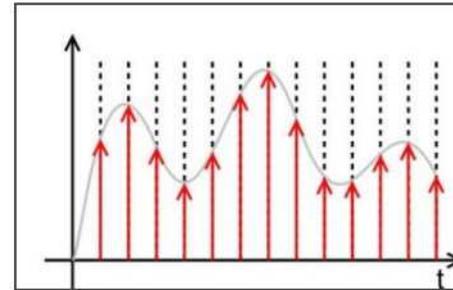
Théorème de Shannon-Nyquist à respecter :

$$f_e > 2 \cdot F_{\max}$$

Exemple : BP de la HiFi 20Hz à 20kHz
(f_e = fréq. éch.) \geq 40kHz (norm=44,1kHz)

→ Pbs de repliements de Spectres (Aliasing)

(Roues du chariot qui tournent à l'envers) => Filtre passe bas LPF

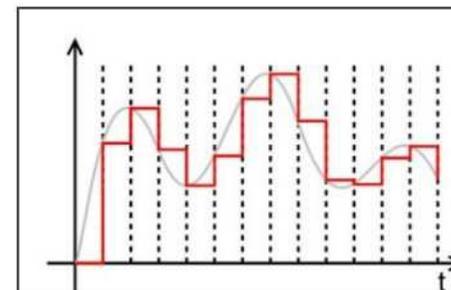


Quantification (Fonction du nbr bits)

Dynamique 6 dB/bit (Théorique car plus compliqué)

Exemple : 96 dB de dynamique pour une carte son de 16bits

→ Bruit de quantification



→ Problèmes de latence à prendre également en compte



Problématique de la Fréquence Image

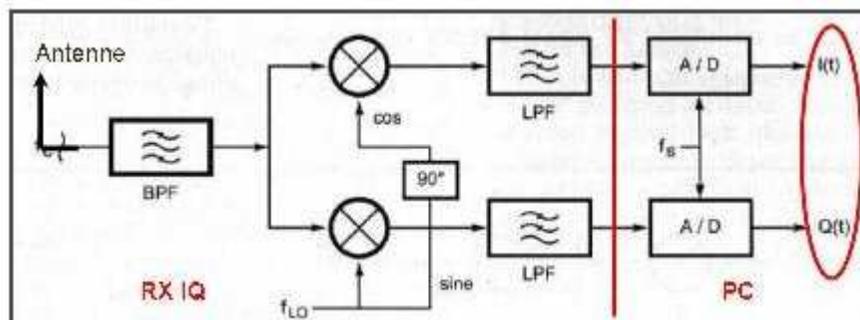
La problématique du récepteur à conversion directe provient (entre autres) du fait qu'il présente une fréquence image dans la bande de base...

→ **Il faut donc atténuer au maximum cette fréquence image !**



La suppression de la fréquence image passe par l'utilisation de la **Quadrature I & Q**. C'est ensuite le logiciel qui va l'éliminer. Ce sera d'autant plus facile pour lui qu'il verra à l'entrée de la carte son deux signaux identiques, d'amplitudes égales et déphasés rigoureusement de 90° .

Solution = double Mixer + FOL & FOL+90° → I & Q



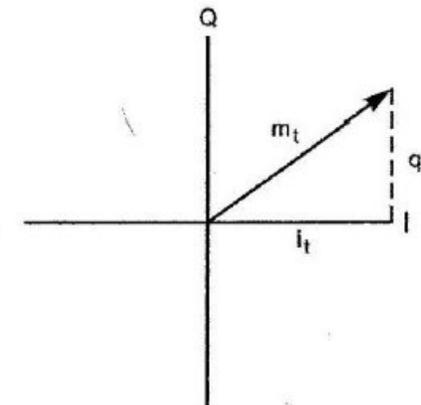
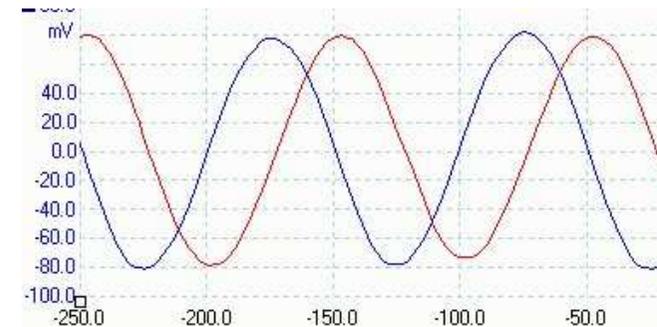
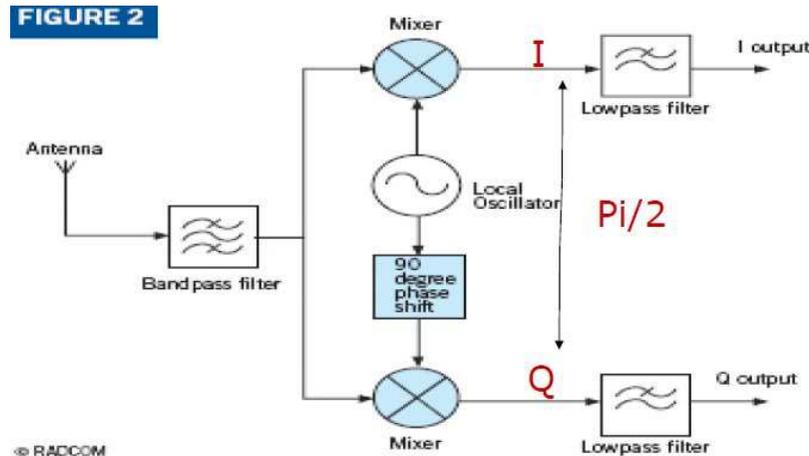


Qu'est ce que I & Q ?

I et Q = Quadrature de phase Elle consiste à prendre deux porteuses de même fréquence, mais déphasées l'une par rapport à l'autre de 90° (d'où l'appellation quadrature)

« I et Q, Complex mais pas compliqué 😊 ! » <http://www.dspguru.com/sites/dspguru/files/QuadSignals.pdf>

FIGURE 2



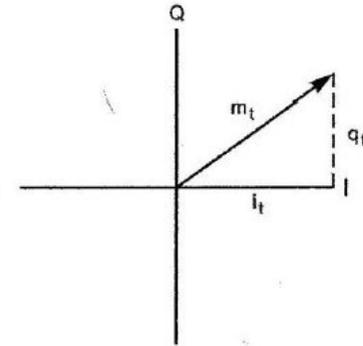
- Notation générale des axes (dans le plan complexe) :
 - **I (In phase)** pour l'axe représentant l'origine.
 - **Q (quadrature)** pour l'axe déphasé de 90° , en avance par rapport à l'axe I.



La démodulation avec I & Q

Démodulation de l'**AM** (m = Amplitude Modulation)

$$m_t = \sqrt{I_t^2 + Q_t^2}$$



Démodulation de la **Phase** (Pm = Phase Modulation)

$$Pm = \text{tang-1}(I/Q)$$

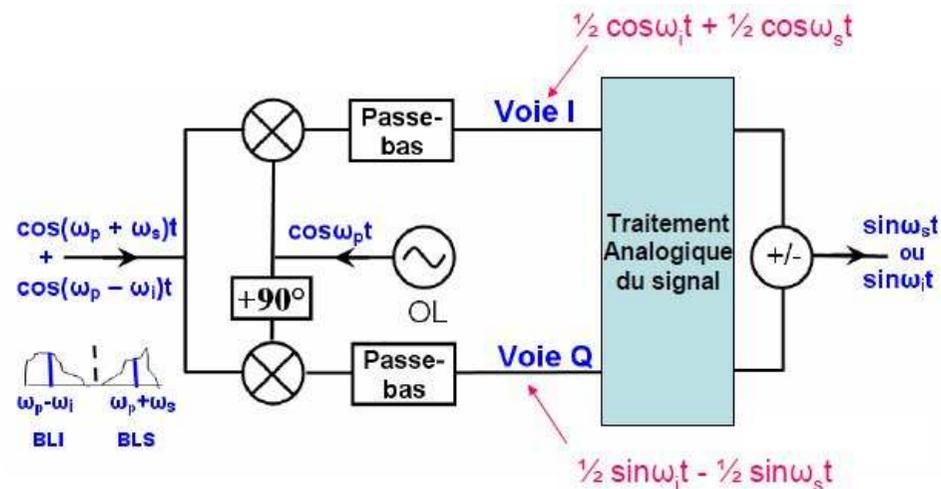
Démodulation en **Fréquence** (Fm = Fréquence Modulation)

$$Fm = (Q_n \cdot I_{n-1} - Q_{n-1} \cdot I_n) / (I_n \cdot I_{n-1} + Q_n \cdot Q_{n-1})$$

(Avec n l'échantillon courant et $(n-1)$ l'échantillon précédent)



Démodulation de la SSB avec I & Q



Objectif : Extraire la BLI ou la BLS à partir des signaux I & Q

- Le signal HF est mélangé dans deux mélangeurs, attaqués en quadrature par l'oscillateur local réglé sur la porteuse (supprimée) du signal entrant, BLI et/ou BLS.
- En sortie des mélangeurs, on retrouve les produits de mélange dont seuls ceux de fréquences audio nous intéressent. « Malheureusement » BLS et BLI sont présentes sur les deux voies I et Q avec des relations de phases ne permettant pas de les utiliser telles quelles.
- Les deux voies doivent être déphasées entre-elles de 90°, puis additionnées ou soustraites pour restituer la BLI ou la BLS.

Conventions :

ω_p = porteuse
 ω_s = bande latérale supérieure
 ω_i = bande latérale inférieure

En I :

$$x_s = \cos(\omega_p + \omega_s)t \times \cos\omega_p t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_p + \omega_s + \omega_p)t + \cos(\omega_p + \omega_s - \omega_p)t]$$

$$x_s = \frac{1}{2} \cos\omega_s t$$

$$x_i = \cos(\omega_p - \omega_i)t \times \cos\omega_p t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_p - \omega_i + \omega_p)t + \cos(\omega_p - \omega_i - \omega_p)t]$$

$$x_i = \frac{1}{2} \cos\omega_i t$$

$$x_I = x_s + x_i = \frac{1}{2} \cos\omega_s t + \frac{1}{2} \cos\omega_i t$$

En Q :

$$y_s = \cos(\omega_p + \omega_s)t \times \sin\omega_p t = \frac{1}{2} [\sin(\omega_p + \omega_s + \omega_p)t - \sin(\omega_p + \omega_s - \omega_p)t]$$

$$y_s = -\frac{1}{2} \sin\omega_s t$$

$$y_i = \cos(\omega_p - \omega_i)t \times \sin\omega_p t = \frac{1}{2} [\sin(\omega_p - \omega_i + \omega_p)t - \sin(\omega_p - \omega_i - \omega_p)t]$$

$$y_i = \frac{1}{2} \sin\omega_i t$$

$$y_Q = y_s + y_i = -\frac{1}{2} \sin\omega_s t + \frac{1}{2} \sin\omega_i t$$

En déphasant la branche I de 90°,

et en additionnant la voie I et la voie Q :

$$I(+90^\circ) + Q = \frac{1}{2} [\cos(\omega_s + \pi/2)t + \cos(\omega_i + \pi/2)t - \sin\omega_s t + \sin\omega_i t]$$

$$I(+90^\circ) + Q = \sin\omega_i t$$

ou en soustrayant la voie I (+90°) et la voie Q :

$$I(+90^\circ) - Q = \frac{1}{2} [\cos(\omega_s + \pi/2)t + \cos(\omega_i + \pi/2)t + \sin\omega_s t - \sin\omega_i t]$$

$$I(+90^\circ) - Q = \sin\omega_s t$$



Démodulation de l'USB avec I & Q

Conventions :

ω_p = porteuse

ω_s = bande latérale supérieure

ω_i = bande latérale inférieure

En I :

Éliminé par
filtrage passe-bas

$$x_s = \cos(\omega_p + \omega_s)t \times \cos\omega_p t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_p + \omega_s + \omega_p)t + \cos(\omega_p + \omega_s - \omega_p)t]$$

$$x_s = \frac{1}{2} \cos\omega_s t$$

$$x_i = \cos(\omega_p - \omega_i)t \times \cos\omega_p t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_p - \omega_i + \omega_p)t + \cos(\omega_p - \omega_i - \omega_p)t]$$

$$x_i = \frac{1}{2} \cos\omega_i t$$

$$x_I = x_s + x_i = \frac{1}{2} \cos\omega_s t + \frac{1}{2} \cos\omega_i t$$

En Q :

$$y_s = \cos(\omega_p + \omega_s)t \times \sin\omega_p t = \frac{1}{2} [\sin(\omega_p + \omega_s + \omega_p)t - \sin(\omega_p + \omega_s - \omega_p)t]$$

$$y_s = -\frac{1}{2} \sin\omega_s t$$

$$y_i = \cos(\omega_p - \omega_i)t \times \sin\omega_p t = \frac{1}{2} [\sin(\omega_p - \omega_i + \omega_p)t - \sin(\omega_p - \omega_i - \omega_p)t]$$

$$y_i = \frac{1}{2} \sin\omega_i t$$

$$y_Q = y_s + y_i = -\frac{1}{2} \sin\omega_s t + \frac{1}{2} \sin\omega_i t$$

En déphasant la branche I de 90°,

et en additionnant la voie I et la voie Q :

$$I(+90^\circ) + Q = \frac{1}{2} [\cos(\omega_s + \pi/2)t + \cos(\omega_i + \pi/2)t - \sin\omega_s t + \sin\omega_i t]$$

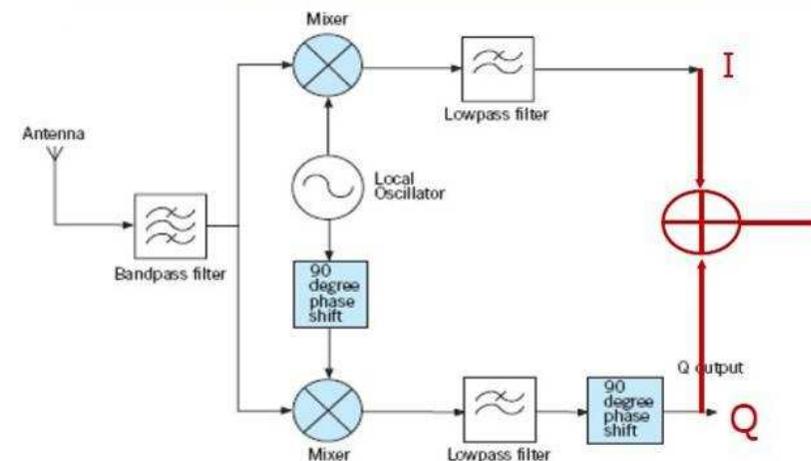
$$I(+90^\circ) + Q = \sin\omega_i t$$

ou en soustrayant la voie I (+90°) et la voie Q :

$$I(+90^\circ) - Q = \frac{1}{2} [\cos(\omega_s + \pi/2)t + \cos(\omega_i + \pi/2)t + \sin\omega_s t - \sin\omega_i t]$$

$$I(+90^\circ) - Q = \sin\omega_s t$$

© F4FEI - 2007





Démodulation de la LSB avec I & Q

Conventions :

ω_p = porteuse

ω_s = bande latérale supérieure

ω_i = bande latérale inférieure

En I :

Éliminé par
filtrage passe-bas

$$x_s = \cos(\omega_p + \omega_s)t \times \cos\omega_p t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_p + \omega_s + \omega_p)t + \cos(\omega_p + \omega_s - \omega_p)t]$$

$$x_s = \frac{1}{2} \cos\omega_s t$$

$$x_i = \cos(\omega_p - \omega_i)t \times \cos\omega_p t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_p - \omega_i + \omega_p)t + \cos(\omega_p - \omega_i - \omega_p)t]$$

$$x_i = \frac{1}{2} \cos\omega_i t$$

$$x_I = x_s + x_i = \frac{1}{2} \cos\omega_s t + \frac{1}{2} \cos\omega_i t$$

En Q :

$$y_s = \cos(\omega_p + \omega_s)t \times \sin\omega_p t = \frac{1}{2} [\sin(\omega_p + \omega_s + \omega_p)t - \sin(\omega_p + \omega_s - \omega_p)t]$$

$$y_s = -\frac{1}{2} \sin\omega_s t$$

$$y_i = \cos(\omega_p - \omega_i)t \times \sin\omega_p t = \frac{1}{2} [\sin(\omega_p - \omega_i + \omega_p)t - \sin(\omega_p - \omega_i - \omega_p)t]$$

$$y_i = \frac{1}{2} \sin\omega_i t$$

$$y_Q = y_s + y_i = -\frac{1}{2} \sin\omega_s t + \frac{1}{2} \sin\omega_i t$$

En déphasant la branche I de 90°,

et en additionnant la voie I et la voie Q :

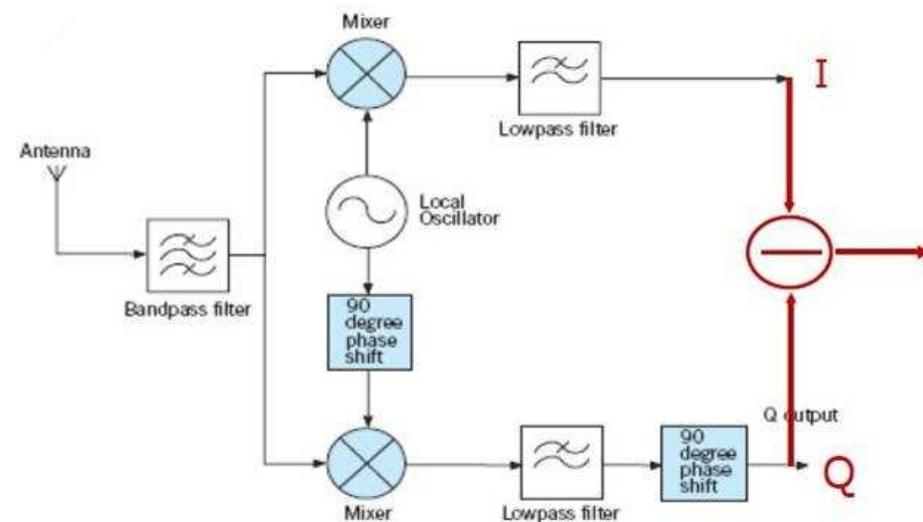
$$I(+90^\circ) + Q = \frac{1}{2} [\cos(\omega_s + \pi/2)t + \cos(\omega_i + \pi/2)t - \sin\omega_s t + \sin\omega_i t]$$

$$I(+90^\circ) + Q = \sin\omega_s t$$

ou en soustrayant la voie I (+90°) et la voie Q :

$$I(+90^\circ) - Q = \frac{1}{2} [\cos(\omega_s + \pi/2)t + \cos(\omega_i + \pi/2)t + \sin\omega_s t - \sin\omega_i t]$$

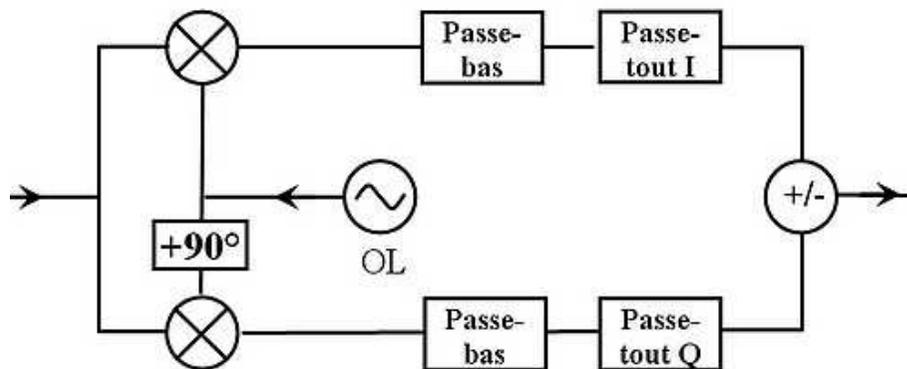
$$I(+90^\circ) - Q = \sin\omega_s t$$





Problématique de I & Q

- Les conditions d'amplitudes égales et rigoureusement déphasées de 90° ne sont jamais réunies, il y a toujours des écarts d'amplitude et de phase dans la bande passante et pour compliquer un peu la chose, ces écarts ne sont pas constants ...
- Pour obtenir une suppression de la bande latérale non souhaitée de l'ordre de 40dB, le calcul montre que la précision sur le déphasage de 90° dans la bande de fréquence envisagée (soit ici de 300 à 3000 Hz) doit être de l'ordre du $\frac{1}{2}$ degré
- La littérature sur le sujet nous dit qu'un tel déphaseur est impossible à réaliser
- Une des solutions envisagées consiste donc à introduire dans chaque voie I et Q un filtre passe-tout, dont la phase varie de façon linéaire avec le logarithme de la fréquence entre 300 et 3000 Hz
- En calculant judicieusement ces filtres on obtient une différence de phase constante de quasiment 90° entre les sorties des filtres
- Plus les filtres ont de pôles, plus on reste près de 90° et plus la réjection de la bande latérale indésirable est importante



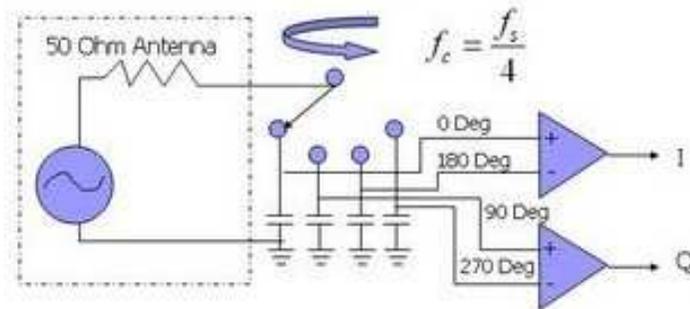


Amélioration avec le détecteur de Tayloe

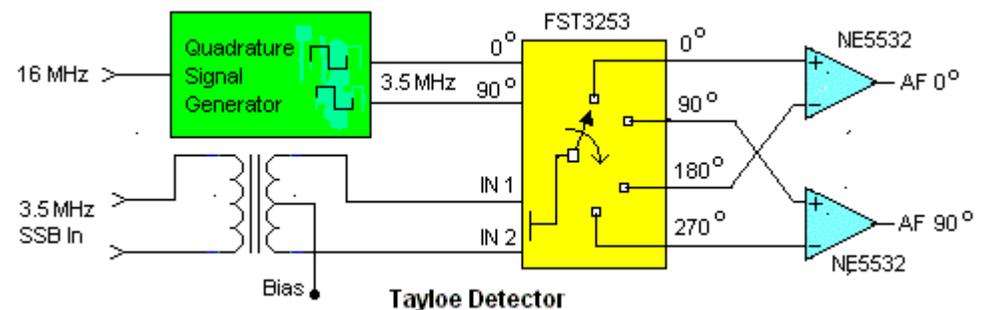
Dan TAYLOE, (N7VE), qui travaille chez Motorola, a développé et breveté (Brevet US #6.230.000) ce qu'on appelle depuis **le détecteur de quadrature (ou de produit) de Tayloe**

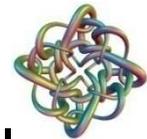
→ Amélioration importante de la détection I/Q

Un gain de 6dB avec un minimum de bruit



$$BW = \frac{1}{\pi R_{ant} C_s}$$





Brevet US #6.230.000 du détecteur de Tayloe



(12) **United States Patent**
Tayloe

(10) **Patent No.:** US 6,230,000 B1
(45) **Date of Patent:** May 8, 2001

(54) **PRODUCT DETECTOR AND METHOD THEREFOR**

(75) **Inventor:** Daniel Richard Tayloe, Phoenix, AZ (US)

(73) **Assignee:** Motorola Inc., Schaumburg, IL (US)

(*) **Notice:** Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) **App. No.:** 09/173,639
(22) **Filed:** Oct. 15, 1998

(51) **Int. Cl.:** H04L 1/26; H04B 1/00
(52) **U.S. Cl.:** 455/302; 455/303; 455/304; 455/313

(53) **Field of Search:** 455/302, 303, 455/304, 323, 338, 339, 313, 315, 323, 375/323, 329, 332, 327-113, 45, 329, 304

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

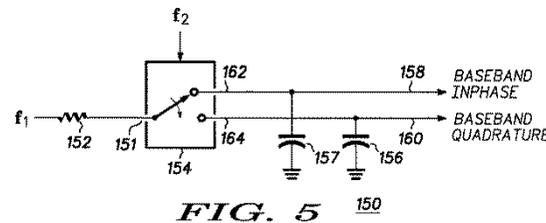
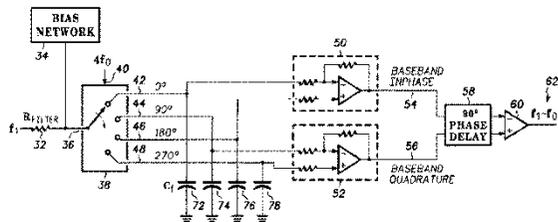
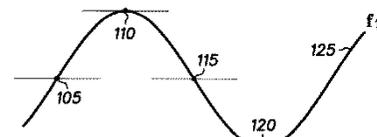
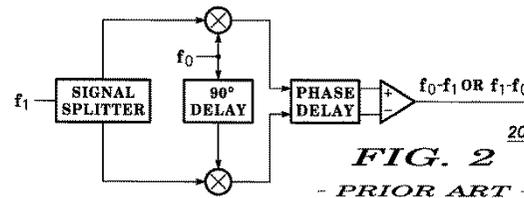
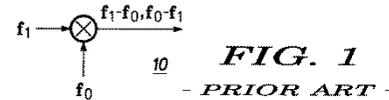
4,547,260	* 7/1989	Robt.	375/336
4,676,229	10/1989	Schuler et al.	329/341
5,150,334	9/1992	Mosk et al.	329/388
5,339,159	8/1994	Schultz et al.	455/333
5,335,114	* 10/1994	Becca	455/399
5,587,842	9/1998	Williams	375/316
5,761,843	* 6/1998	Johr	455/314
5,805,011	* 9/1998	Haidjecs et al.	470/344
5,836,575	* 11/1998	Rosenb.	455/302
5,999,574	* 12/1999	Sun et al.	375/336
6,073,091	* 6/2000	Sukler	455/333
6,086,581	* 7/2000	Bielzy et al.	455/331

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

0691733	6/1995	(EP)	E03B/21,690
---------	--------	------	-------------

14 Claims, 3 Drawing Sheets

U.S. Patent May 8, 2001 Sheet 1 of 3 US 6,230,000 B1



Patent Tayloe
6.230.000





DSP Digital Signal Processing

DSP = « **D**igital **S**ignal **P**rocessor(*ing*) »

Le DSP qu'on pourrait traduire par « Processeur(*sus*) de Traitement du Signal Numérique » se distingue des autres domaines de l'informatique par le fait que les données traitées sont des **signaux** issus du monde réel (Vibrations, images, ondes sonores,...)

Apparu dans les années 60, 70s par le développement de l'informatique le DSP est devenu aujourd'hui une connaissance de base incontournable que les ingénieurs doivent posséder

Il correspond aux techniques (mathématiques et algorithmes) utilisés pour manipuler les signaux après qu'ils aient été convertis sous une forme digitale et ayant entre autre pour objectifs :

- L'amélioration des images visuelles
- La compression des données pour la transmission
- La reconnaissance et production de la parole, etc.

On le trouve dans les domaines suivants : Espace, militaire, médical, Industriel, ...



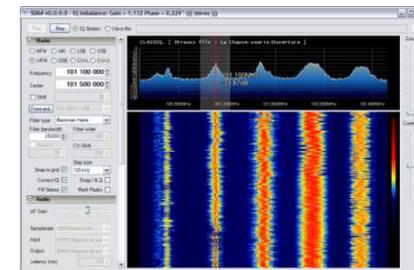
Pour aller plus loin sur le DSP

Matérialisé par du code informatique intégré soit dans un :

- ASIC (Circuit spécialisé)

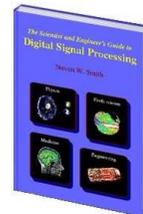
[Analog Devices](#), [Freescal](#), [Lucent](#), [Texas Instruments](#)..

- Programme informatique à part entière
PowerSDR, HPSDR, SDR#, Linrad, Rocky..



Références pour aller plus loin :

- <http://www.dspguru.com/>
- <http://www.dspguide.com/>



dspGuru BY LOWEGIAN INTERNATIONAL



Des logiciels DSP disponibles

Rappel : La qualité du SDR repose jusqu'à 80% sur la qualité du logiciel (DSP, Filtres, Démodulation,...)

NOTE : Choisir en priorité des logiciels libres de projets « Open sources » actifs

Logiciels propriétaires :

- Perseus software
- PowerSDR de Flexradio distributed under the GNU GPL License can be downloaded from the Flex-Radio web site but only in binary form, no source code !!
- Smarsdr de Flexradio
- Studio1
- Spectravue de RFSpace

Logiciels libres et « Open » (Pour Windows / Linux/ MacOS / Android) ; (Liste à compléter) :

- PowerSDR de Flexradio et dérivés
- SDRMAX de Phil Covington N8VB
- CuSDR de DL3HVH (SDR Frontend for the [HPSDR project](#))
- SDR#
- HDSDR
- WINRAD
- LINRAD
- Rocky de VE3NEA
- KGKSDR de MØKGK www.m0kgk.co.uk/
- SDRadio de I2PHD <http://www.weaksignals.com/>
- SDR Radio <http://www.sdr-radio.com/>
- GNU Radio
- ...



Pour/Contre la conversion indirecte

POUR :

- Bon marché et simple à expérimenter

CONTRE :

- A cause du mélangeur de (Taylor), (Softrock, Pappradio usw), il y a seulement la demodulation qui est digitale mais pas le taritement du signal RF !
- Due au traitement analogique des signaux I/Q, des signaux fantomes et images peuvent aparaitre à l'intérieure de la fenêtre de reception
- La qualité de la carte son est essentielle pour la qualité de tout le SDR-System
- Les courtes distances entre le Transceiver et le PC, font que les signaux I/Q sont transférés comme des signaux analogiques !
- Faible dynamique(<100dB), and weak IP3 is a result of the simple Mixing principle, Master oscillator signal is hard to reject from Antenna, Deaf hole around zero Hertz IF due to inability of Soundcards to digitize low frequency / DC signals
- Pb de latence du à lenteure de la chaine de traitement numérique
- Bruit de phase au niveau du déphaseur (I/Q)
- Très difficile d'optenir un déphasage de 90° parfait



Les projets en cours sur ce principe 😊 !





Les projets en cours de Taylor SDR

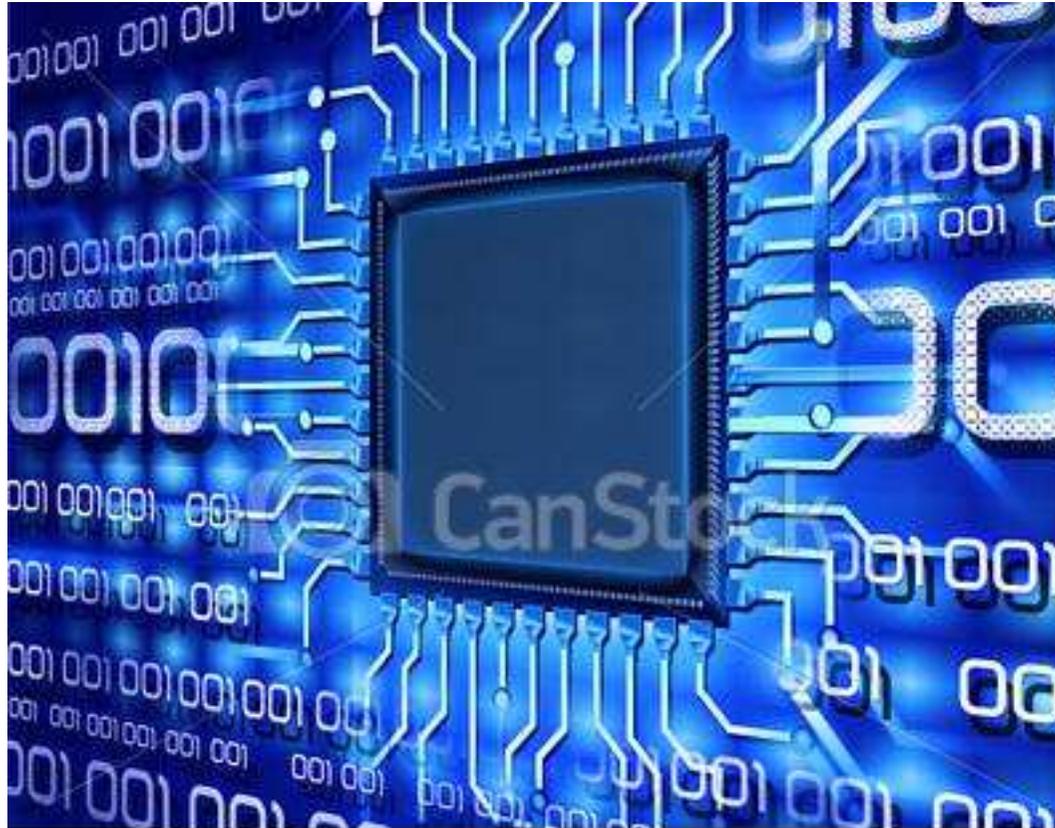
Quelques Kits (Rx et Trx) / Réalisations très accessibles

- Softrock : <http://wb5rvz.com/sdr/>
- Hasdr : <http://hasdr.ceger.hu/indexf.html>
- YU1LM : <http://yu1lm.qrpradio.com/>
- GENESIS : <http://www.genesisradio.com.au/>
- F6BCU <http://f6bcu.monsite-orange.fr/recept.transceiverssdr/index.html>
- FA-SDR : http://www.box73.de/index.php?cPath=112_168_169
http://www.lbp.fr/ham/FA_line.htm
- FIFI-SDR : <http://o28.sischa.net/fifisdr/trac>
- Kanga : <http://www.kanga-products.co.uk/>
- SeaSDR_40 : <http://seasdr.altervista.org/> <http://arp75.free.fr/PortailARP/blog.php?lng=fr&sel=pg&pg=3625>
- F1ABR <http://f1abr.sdr.free.fr/index.html>
- ADTRX9 <http://www.aliva-kits.com/project-adtrx9/>

Quelques solutions commerciales (Rx et Trx)

- PM-SDR : <http://www.iw3aut.altervista.org/>
- Flexradio (Flex 1500, 3000, 5000 series) : <http://www.flex-radio.com/>
- FUNcube Pro+ :

SDR à conversion directe du signal RF



© Can Stock Photo - csp5323869



Le Transceiver SDR à conversion directe

C'est la solution la plus efficace et celle vers laquelle il faut finir par s'orienter si l'on veut vraiment bénéficier des atouts du SDR par contre c'est la plus onéreuse et la plus difficile à mettre en œuvre

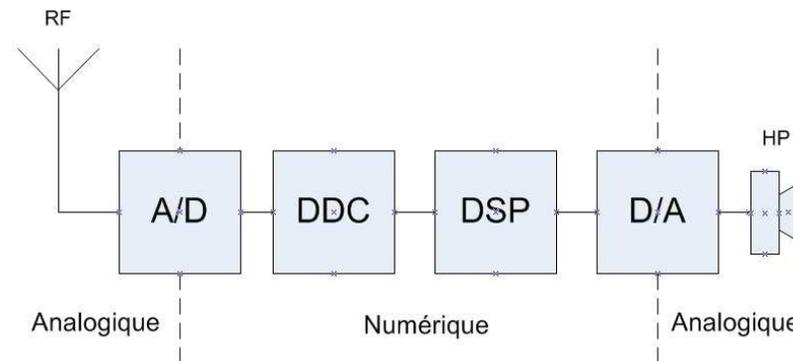
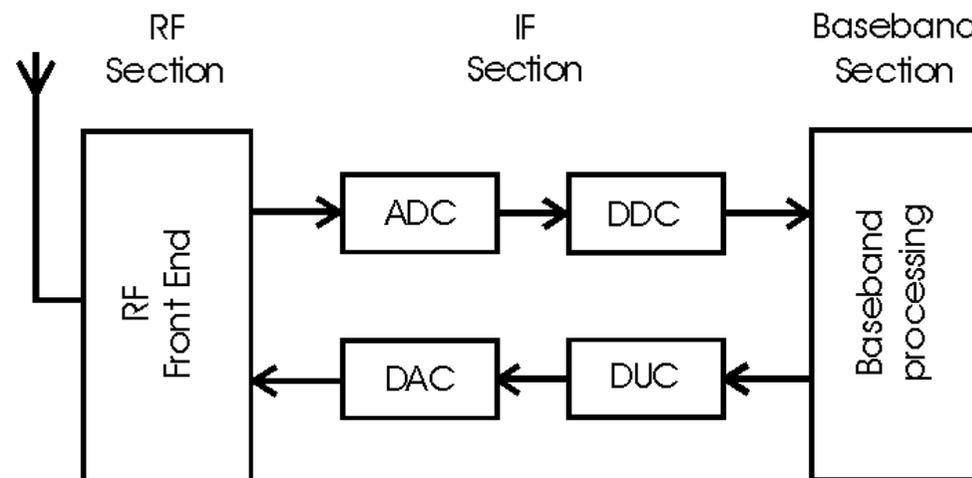


Schéma bloc d'un Emetteur / Récepteur SDR à conversion directe . On voit apparaitre un composant important juste après l'ADC ou avant le DAC, il s'agit du DDC et du DUC intégré dans un FPGA





Techniques mises en jeux dans la CD

Communes avec l'analogique

- Pré Filtrage analogique (Présélecteur, filtre passe-bas..)
- Pré Amplification (LNA)
- Amplification Audio
- Amplification HF



Spécifiques au SDR à conversion directe du signal RF

- Convertisseur Analogique/Numérique = **CAN** ou **A/D (ASIC)**
- Convertisseur Digital/Analogique = **CNA** ou **D/A (ASIC)**
- Convertisseur (Abaisseur/Elévateur) du Signal Numérique = **DDC/DUC (FPGA)**
- Process (eur) de Traitement du Signal = **DSP (GGP ou totalement Logiciel)** : Le cœur du SDR !
(Transformée en Z, de Fourier, Filtrage numérique, Traitements I/Q, Modulation et démodulation numérique)

```
class Program
{
    static void Main(string[] args)
    {
        Console.WriteLine("R1");
        Console.WriteLine("Hello");
        Console.WriteLine("Hello");
        Console.WriteLine("Hello world! ___"); ;
        Console.WriteLine("Hello+Fix");
    }
}
```

Rq : La frontière des rôles entre ASICs, FPGA et DSP n'est pas franche (Exemples : Les fonctions de DDC/DUC et de filtrage peuvent être traitées partiellement ou totalement par le FPGA)

<http://www.wb5rvz.com/sdr/ensemblrx/acronyms.htm>



Les différents circuits (Hardware)

ASIC (Application Specific Integrated Circuit)

ADC, DAC etc (Les fonctions sont câblées → Non modifiables)



FPGA (Field Programmable Gate Arrays = réseau de portes programmables *in situ*) ≠ Microcontrôleur

DDC/DUC, Control, etc (*Spartan 6 XC6SLX9 FPGA*)

<http://k9zw.wordpress.com/2013/05/08/learning-about-fpgas-the-mojo-by-embedded-micro/>

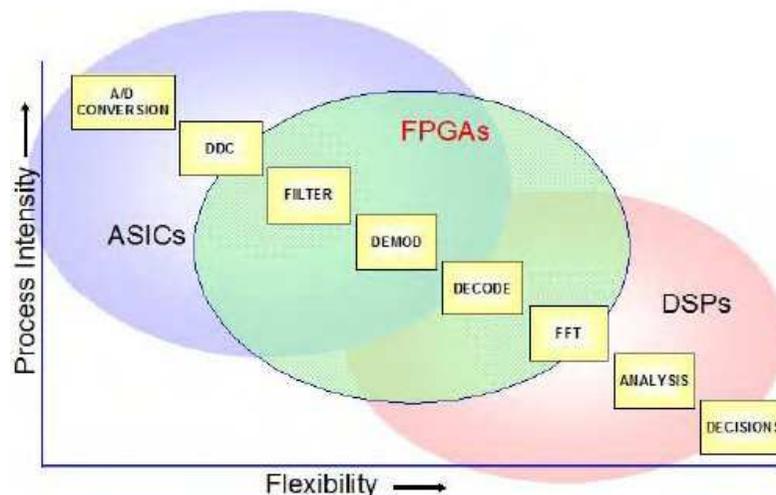
<http://embeddedmicro.com/tutorials/digital-logic/what-is-an-fpga>

<http://embeddedmicro.com/tutorials/the-mojo>



DSP (Digital Signal Processing) sous forme de **Chipset**

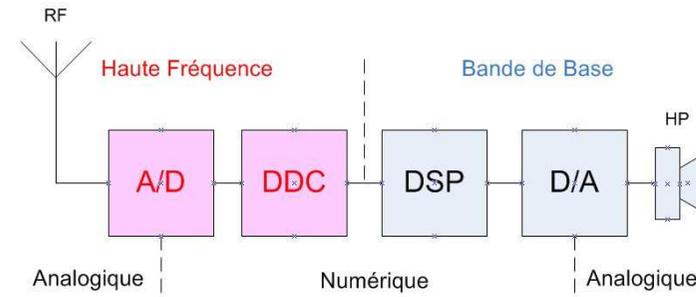
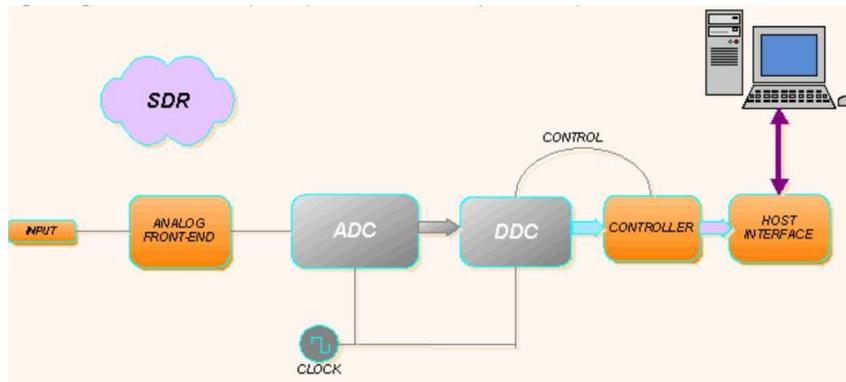
GPP (General Purpose Processor) exécutant des **Softwares** comme PowerSDR, SDR#



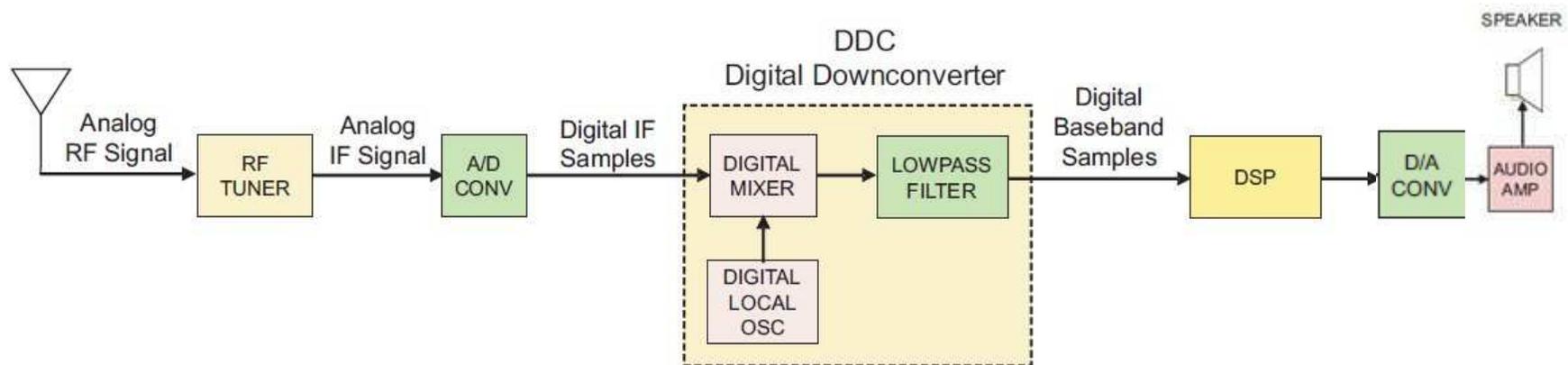
```
class Program
{
    static void Main(string[] args)
    {
        Console.WriteLine("R1");
        Console.WriteLine("Hello");
        Console.WriteLine("Hello");
        Console.WriteLine("Hello world! ___"); ;
        Console.WriteLine("Hello+Fix");
    }
}
```

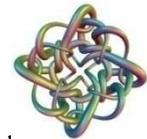


Récepteur SDR à conversion directe



Bloc diagramme plus détaillé du récepteur SDR à conversion directe





Convertisseur Digital DDC/DUC (FPGA)

Dans le récepteur à Conversion Directe le **FPGA** traite en réception les fonctions de :

http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_down_converter

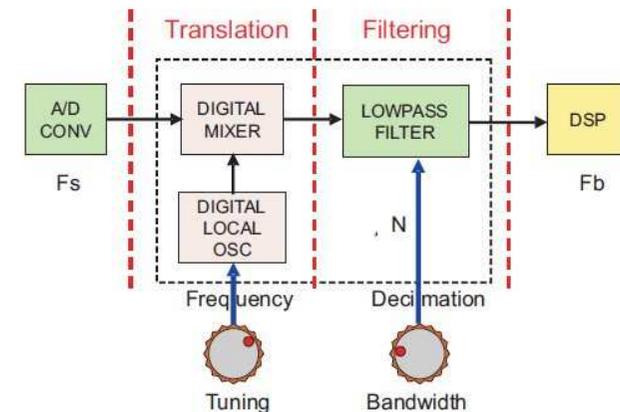
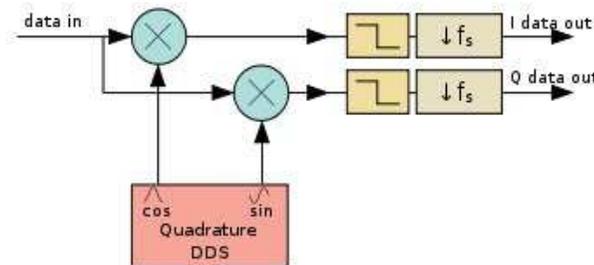
DDC (Digital Down Conversion)

DDS (Direct Digital Synthesiser)

LPF (Low passe filter)

Down Sampler

Générateur I/Q



Ces fonctions font appel aux propriétés de la transformée de Fourier, de l'algorithme de CORDIC, des filtres digitaux FIR, IIR et CIC pour réjection de la Fréquence Image

Exemple : AD6620 (ASIC) ou XILINK (FPGA)

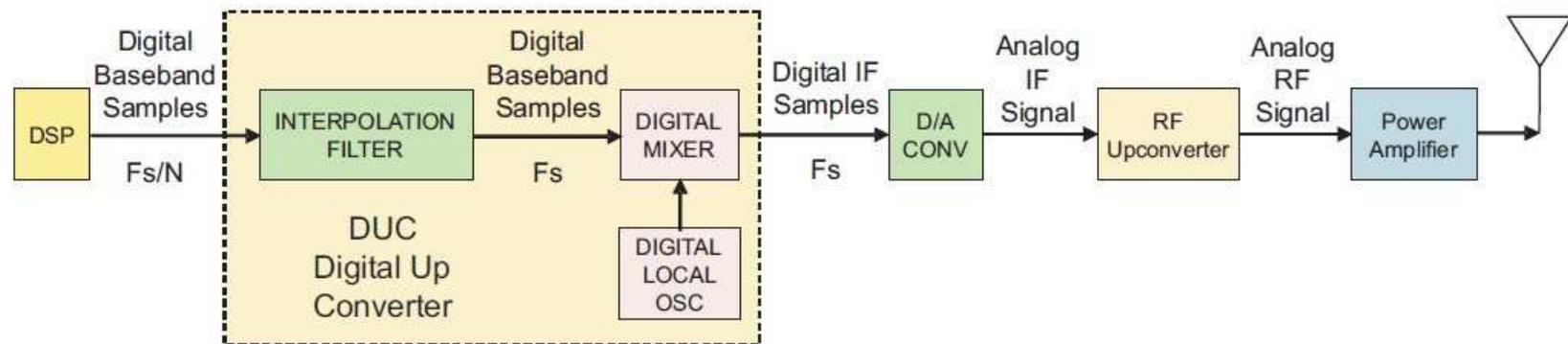
Coté émission à CD on parle alors de **DUC** (Digital Up Conversion)

Fonctions communément implémentées dans un circuit de type **ASIC** ou **FPGA**



Emetteur SDR à conversion directe

Bloc diagramme détaillé de la partie émission





Pour/Contre la Conversion Directe

POUR :

- Processus de traitement du signal de l'antenne à la démodulation complètement digital
- Traitement I/Q digital éliminant les erreurs d'amplitude et phase, pas besoin de corrections
- Full digital processing even for the RF part results in clean and exact signals and allows the maximum of possible linearity of the used ADC/DAC and their dynamic range.
- Mixage digital avec l'algorithme CORDIC qui élimine les fréquences images!
- Filtrage digital avec CORDIC / FIR Filters allows large usable bandwidth (up to 1 - 2 MHz!)
- Haute résolution des ADC/DAC permet high usable dynamic range and results in a good IP3
- Processus Digital dans les FPGA permet de nouvelles fonctions / filters / fonctions loaded „on-the-fly“
- Transfer of digital data via Network allows large operating range & speed, only limited on the range of the network and allows easy remote operated Transceiver

CONTRE :

- Coûts plus élevés dus aux FPGA convertisseurs ADC et DAC coûteux

→ Les SDR à conversion directe de la RF sont donc les vainqueurs de ce duel !!



Les projets SDR à CD de la HF (gen3)

Récepteurs à conversion directe:

- Perseus : <http://microtelecom.it/perseus/>
- Rfspace SDR-ONE : <http://www.sdr-one.com/>
- Winradio www.winradio.com
- Afedri SDR-Net <http://www.afedri-sdr.com/> and many others :-) !



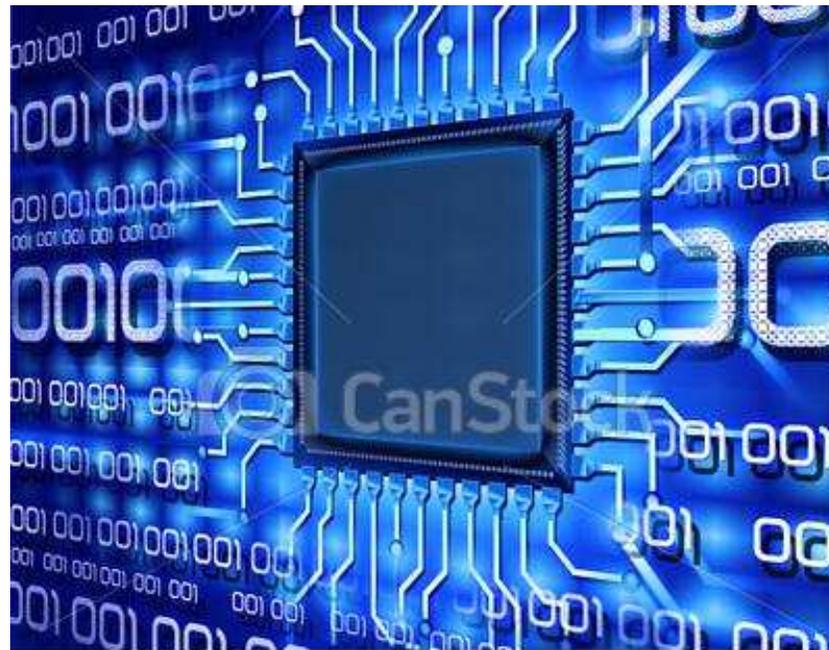
Transceivers à conversion directe:

- Open HPSDR (Hermes), TAPR : <http://openhpsdr.org/>
- QS1R : <http://www.srl-llc.com/>
- ANAN-10 , ANAN-100 : <https://apache-labs.com/> & <http://www.n9vv.com/>
- Flexradio (Flex 6000 series) : <http://www.flex-radio.com/>
- Matt Ettus : <http://www.ettus.com/>
- ADT200a : <http://www.adat.ch/>
- SunSDR2 : <http://www.sunhdr.com/>
- RF Space : <http://www.rfspace.com/RFSPACE/NetSDR.html>
- ZS1SDR : <http://zs-1.ru/>
- HiQSDR, and many others :-) <http://hiqsdr.org/>



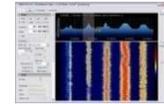
Approche pratique et découverte du SDR

La connaissance s'acquiert par l'expérience, tout le reste n'est que de l'information ! (Albert Einstein)



© Can Stock Photo - csp5323869

1.) Découverte par le WEB-SDR



Il existe plusieurs récepteurs SDR accessibles sur le WEB à partir de son PC

Récepteurs accessibles à partir du portail <http://www.websdr.org/>

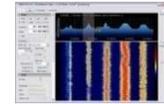
Exemple de récepteur : <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>. The main content is a waterfall plot showing frequency spectrum activity. Below the plot are several control panels:

- View:** waterfall blind
- Frequency:** 3752.15 kHz. Controls: ---, --, -, +, ++, +++. Or tune by clicking/dragging/scrollwheel on the frequency scale.
- Waterfall view:** zoom out, zoom in, max out, band, max in. Hide labels checkbox. Or zoom with scroll wheel on waterfall. Move by dragging the waterfall with the mouse.
- Bandwidth:** 2.49 kHz @ -6dB; 2.95 kHz @ -60dB. Controls: wider, narrower, CWV-wide, CWV-narrow, LSB, LSB-nrw, USB, USB-nrw, AM, AM-nrw, FM.
- Waterfall settings:** Speed: slow, medium, fast. Size: small, medium, large. View: spectrum, waterfall, weak sigs, strong sigs.
- Logbook:** Call of station that you hear: [input]. Comments, if any: [input] submit. Note: time, frequency, your name/call, and DXCC information are added automatically. View the last 20 lines of the logbook, or the entire logbook (ctrl-click for new tab/window).
- Station information:** Lookup in databases: fmscan.org, mwlist.org, qrg.globaltuners.com.

Récepteurs accessibles à partir du soft sdr-radio www.sdr-radio.com

2.) Le projet RTL-SDR avec clé TNT



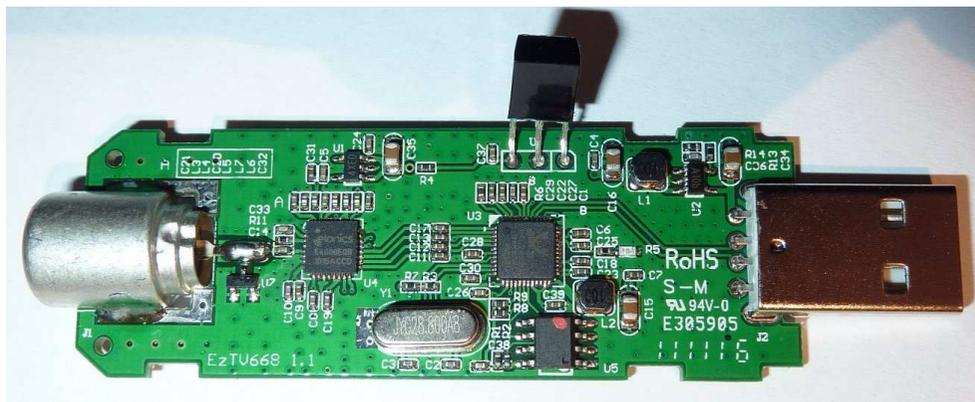
Pour ~30€ détournement de la fonction d'une clé destinée à la réception de la TNT

Clés à base des chipsets Realtech **RTL2832U** outputs 8-bit I/Q-samples, and the highest theoretically possible sample-rate is 3.2 MS/s, however, the highest sample-rate without lost samples that has been tested so far is 2.8 MS/s

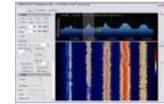
→ Dynamique (Rapport SNB théorique) de 46,4 db (142,72 db pour 24 bits)

Tuners suivants:

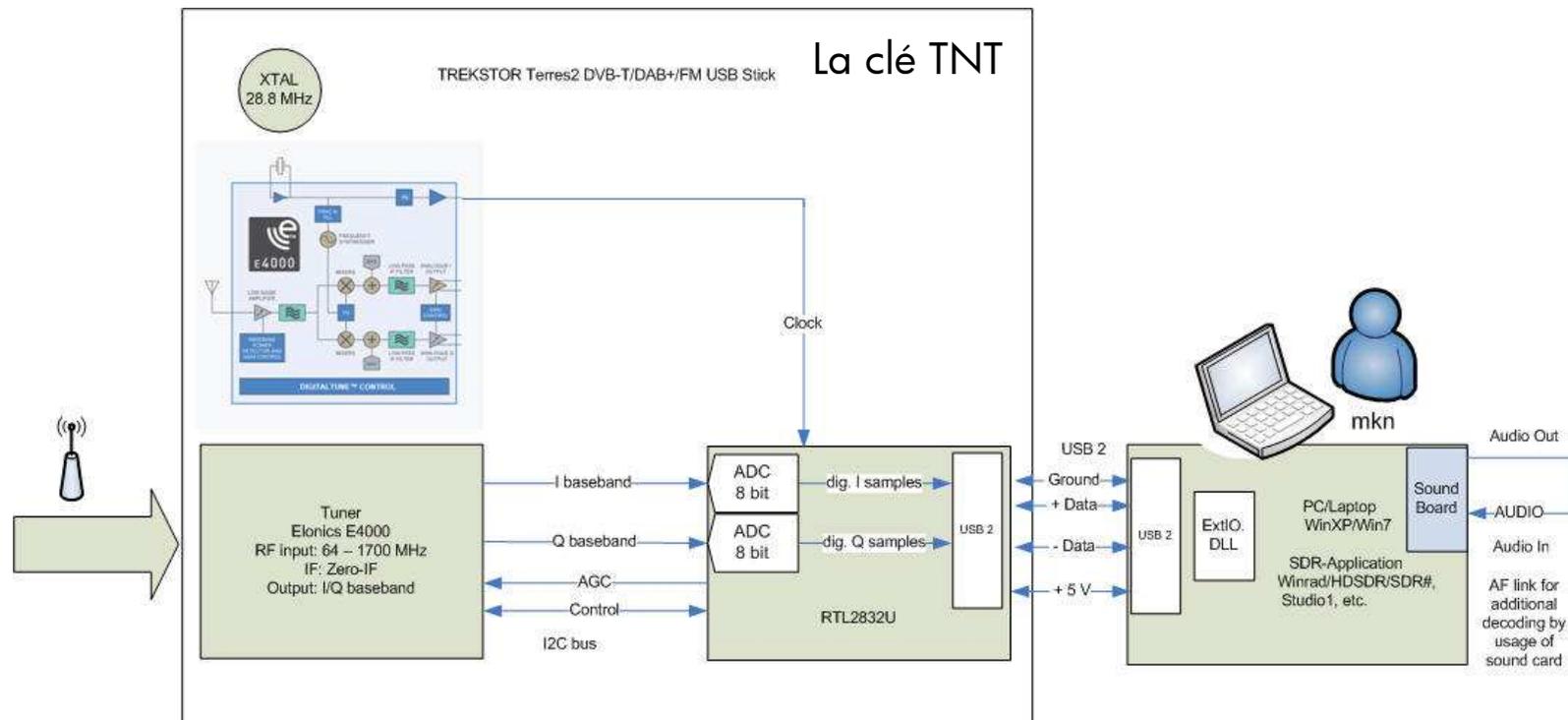
- Fitipower **FC0013** : 22 - 1100 MHz (FC0013B/C, FC0013G has a separate L-band input, which is unconnected on most sticks)
- Fitipower **FC0012** : 22 - 948.6 MHz
- FCI **FC2580** : 146 - 308 MHz and 438 - 924 MHz (gap in between)
- Elonic **E4000** (Obsolete) : 52 - 2200 MHz with a gap from 1100 MHz to 1250 MHz (varies)
- Rafael Micro **R820T** : 24 - 1766 MHz (Chipset actuellement disponible et supporté)



Bloc diagramme RTL-SDR

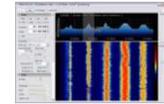


Concept de type conversion indirecte

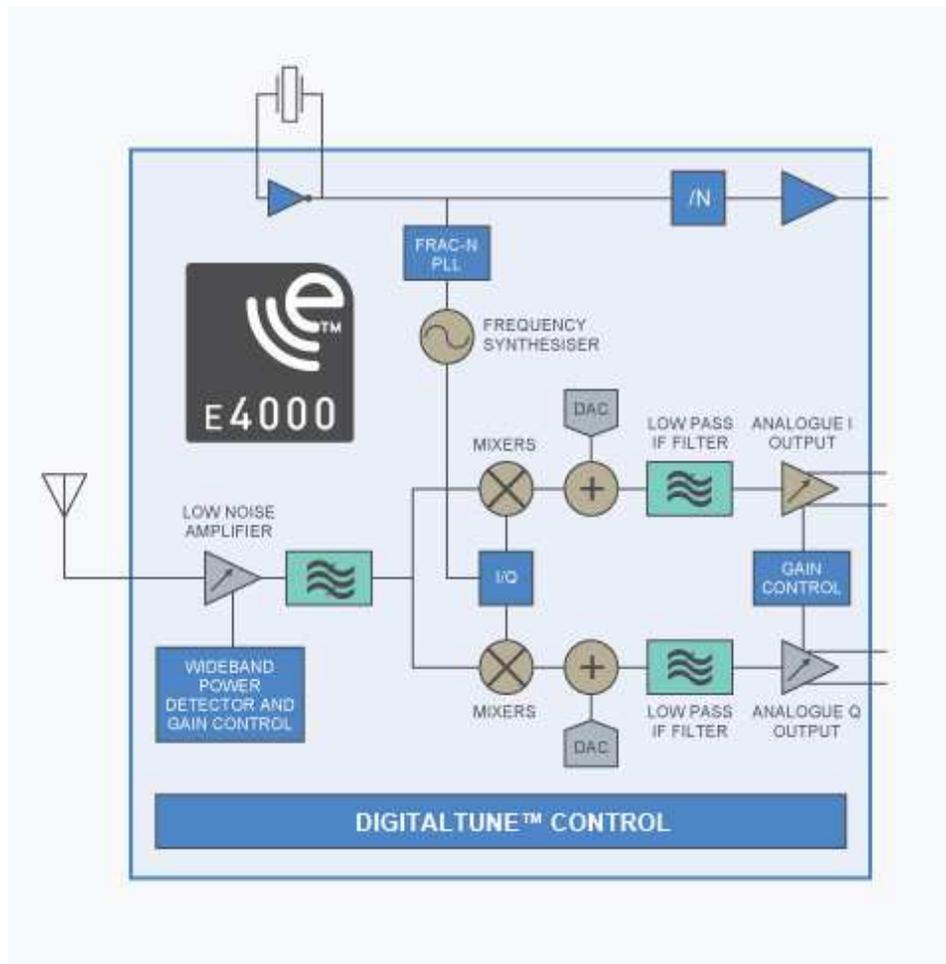


Simplified block diagram RTL2832U based SDR Software Defined Radio

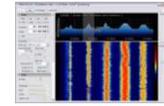
Bloc diagramme du chipset E4000



Conception du « Frontend » à conversion indirecte de la HF (Passage par FI en bande de base avant le convertisseur A/N)



Choix d'une clé compatible



Choix d'une clé compatible avec le projet RTL-SDR et le logiciel sharp SDR#

Clé à base des chipsets Realtech **RTL2832U** et des tuners **Elonic E4000** (Obsolete) ou **R820T** (new)

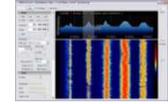
<http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>

- **Marque EzTV**
 - EzTV 666 = OK (RTL2832 + E4000) Obda:2838 (connecteur antenne MCX)
- **Marque Terratec** http://linux.terratec.de/tv_en.html (voir étiquette, sous la clé)
 - Cinergy T Stick RC Rev 3 LA= OK (RTL2832U + E4000)
 - **Cinergy T Stick RC Rev 3 LB= OK (RTL2832U + E4000)**
 - Cinergy T Stick RC Rev 3 LC = OK (RTL3228U + E4000)
 - Cinergy T Stick RC LA MKII (chez boula) = OK (RTL2832U + E4000) (rev3 en fait)
 - Cinergy T Stick Black KG = OK (RTL2832U)
 - Cinergy T Stick Black rev 1.0 JL = OK (RTL2832U+FC0012);(pas de diode de protection)
 - Cinergy T Stick RC Rev 3 KE = /!\ Pas compatible SDR
 - Cinergy T Stick RC Rev 3 KJ = /!\ Pas compatible SDR
 - Cinergy T Stick RC JK = /!\ Pas compatible SDR
- **Marque générique** (Dsiponibles sur Ebay pour environ 15\$)

Attention certaines clés ne disposent pas de diode de protection du tuner . Elles sont donc fragiles et sensibles à l'électricité statique (surtout avec d'autres antennes que celle d'origines).

Source (entre autres) : http://www.reddit.com/r/RTLSDR/comments/tl187/tuner_protection_diodes/





Qu'est ce que le VID:PID Block ?

VID = Vendor ID

PID = Product ID

Basically for USB device identification. You don't do anything with them. That's how the OS identifies the hardware.

Voici une bonne explication : <http://www.voti.nl/docs/usb-pid.html>

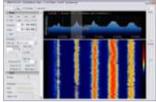
En plus, le PID peut être utilisé par le software dans le system client serveur pour, valider ou restreindre l'accès à traver l'USB.

→ Config HDSDR pour **Cinergy T Stick RC Rev 3 LB (RTL2832U + E4000)**

RTL readlen=8129 vid=0x0CCD pid=0x00D3 tuner=e4

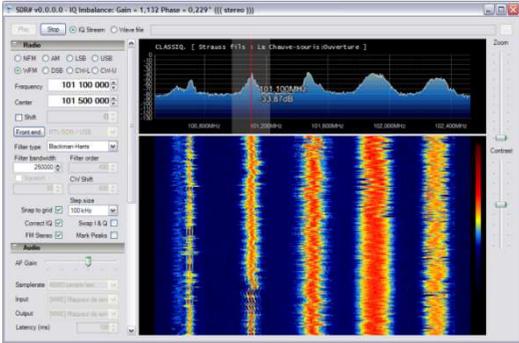
from : <https://groups.google.com/forum/#!msg/ultra-cheap-sdr/36yEY6Tyz9o/ZmloKgxlx0J>

http://knietzsch.de/radio-tv-world/amateur_radio/sdr.htm#To_Do

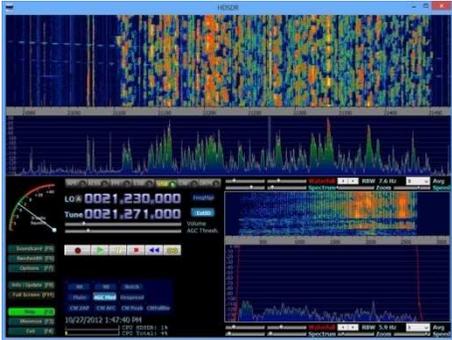


Choix d'un logiciel supporté

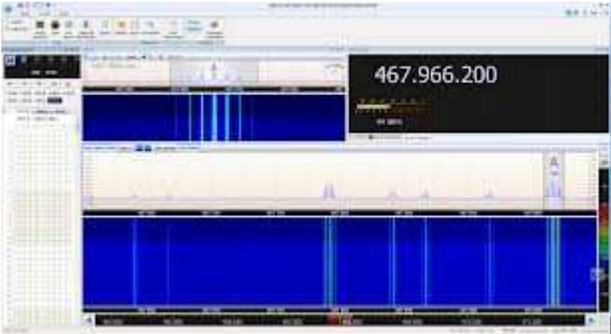
Sharp SDR#



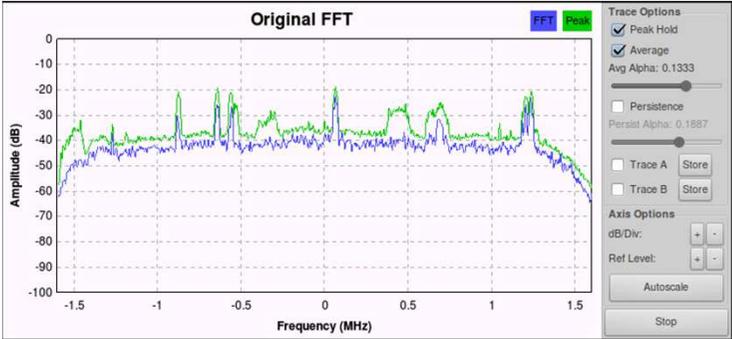
HSDR

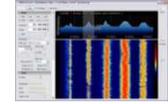


SDR-Radio



GNU software <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>





Quelques tutoriels d'installation RTL-SDR

Tutoriel d'installation du RTL SDR sous Windows

<http://www.spiwit.net/2012/08/18/tuto-installation-du-rtl-sdr-sous-windows/>

Tutoriel d'installation du RTL SDR sous Linux

http://linuxtv.org/wiki/index.php/DVB-T_USB_Devices

<http://doc.ubuntu-fr.org/rtl-sdr>

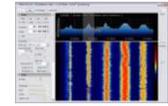
<http://www.nitehawk.com/sm5bsz/linuxdsp/hware/rtlsdr/rtlsdr.htm>

Blog décrivant diverses applications possibles du Dongle

(Une mine d'or !)

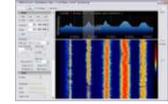
<http://www.rtl-sdr.com/>

Passage à l'étape supérieure avec le Dongle **FUNcube Pro+**



Pour environ 150€, il est possible d'aller beaucoup plus loin qu'avec une simple clé TNT : <http://www.funcubedongle.com/>

Un site de synthèse intéressant pour sa mise en oeuvre
<http://www.hb9afo.ch/articles/funcube/funcube.htm>



3.) Réalisation d'un Front-End I/Q

Kits Softrock : <http://wb5rvz.com/sdr/>

- RX monobande pour 21\$ <http://fivedash.com/> de KB9YIG
- RX multibandes pour 67\$ <http://fivedash.com/> de KB9YIG
- RX-TX multibandes pour 89\$ <http://fivedash.com/> de KB9YIG

Montage de type F6BCU <http://f6bcu.monsite-orange.fr/recept.transceiverssdr/index.html>

- RX ALFA2, ALFA3
- RX TX TransFOX

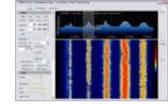
HASDR Clone du Flex SDR1000 pour 100€ <http://hasdr.ceger.hu/indexf.html>

- Cf site de <http://dubuf.free.fr/F1SSF1/index.html>

Kit GENESIS G11 de yu1lm <http://www.genesisradio.com.au/G11/>

- G11 299\$AU pour RX/TX avec 10w à l'émission
- Filtres multiband 39\$AU

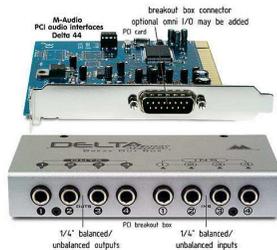
Choix de la carte son



ATTENTION : Ce choix est crucial pour obtenir de bonnes performances et finalement celui-ci n'est pas si large ; Dans un premier temps on peut facilement le résumer à celles-ci

E-MU 0202 : Bonne carte avec interface USB mais malheureusement obsolète ; Peut-être encore disponible sur le marché de l'occasion

Delta44 : Carte PCI avec module de connexion externe (Bonne carte mais il est préférable d'éviter les interfaces PCI qui seront à plus ou moins court terme obsolètes à cause de l'évolution du bus)



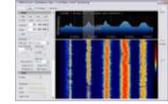
Edirol FA66 : A priori la meilleur, le seul bémol étant l'interface de type IEEE1394 (Excellente interface mais malheureusement moins classique que l'Ethernet ou l'USB) Environ 300€



New : http://www.steinberg.net/en/products/audio_interfaces/ur_series/ur22.html

<http://www.musiciansfriend.com/pro-audio/steinberg-ur22-usb2.0-audio-interface>

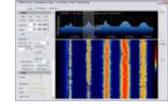
F8GHE



4.) Le choix d'un TRX à conversion directe

J'ai sélectionné ces projets qui à ce jour semblent être un bon choix :

- Afedri à base de chipset Texas (RX uniquement) <http://4z5lv.net/> et <http://afedri-sdr.com/>
- QS1R (TRX) : <http://www.srl-llc.com/>
- Hermes, ANAN-10 , ANAN-100 (TRX) : <https://apache-labs.com/> & <http://www.n9vv.com/>
Issu d'Open HPSDR (Hermes), TAPR : <http://openhpsdr.org/>
- SunSDR2 (TRX) : <http://www.sunsdrr.com/>
- Flexradio Flex 6000 series (TRX) : <http://www.flex-radio.com/>
- BladeRF <http://nuand.com/order.php> (Dispo Juillet 2013) et <http://www.kickstarter.com/projects/1085541682/bladerf-usb-30-software-defined-radio>

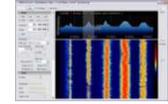


AFEDRI RX pour 249\$

<http://www.afedri-sdr.com/>

- RX seulement ☹️
- Basé sur chipset Texas AFEDRI8201 avec conversion directe sur 12bits
- Interface Ethernet et USB (Très bonne cote)
- Concepteur (Alex Trushkin 4Z5LV) très réactif



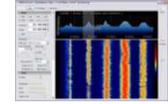


QS1R (RX) pour 899\$ + QS1E (TX)

<http://www.srl-llc.com/>

-
- Interface USB (Avantages et inconvénients à priori devenus mineurs dicit Phill Covington)
- Pas le plus sensible 😞
- Parfaitement compatible avec Cwskimmer 😊
- Software SDRmax libre et très actif 😊





Hermes (895\$) et ANAN-10 (1449\$)

<https://apache-labs.com/> & <http://www.n9vv.com/>

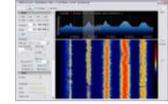
Issu du projet OpenHPSDR <http://openhpsdr.org/>

- Hermes (Exiter de 500mw)



- ANAN-10 & 100

Une version 100W (ANAN-100) pour 1989\$ est prévue pour mars 2013 ainsi qu'une version améliorée ANAN-100D (Angelia) avec ADC 16bits pour 2889\$



SUNSDR pour 899\$ (avec VHF UHF)

<http://sunsdr.com/>

- HF, VHF et UHF 😊
- ??



FLEX Serie 6000

<http://www.flex-radio.com/>

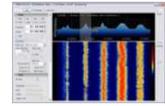
- Prix très élevé 😞
- FlexRadio de la serie 6000 avec le logiciel SmartSDR propriétaire et soumis à licence

Introducing the...

FLEX-6000™

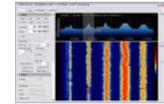
Signature Series

with SmartSDR™



Blade RF

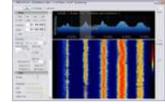
http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=iBSd3QOUfzA



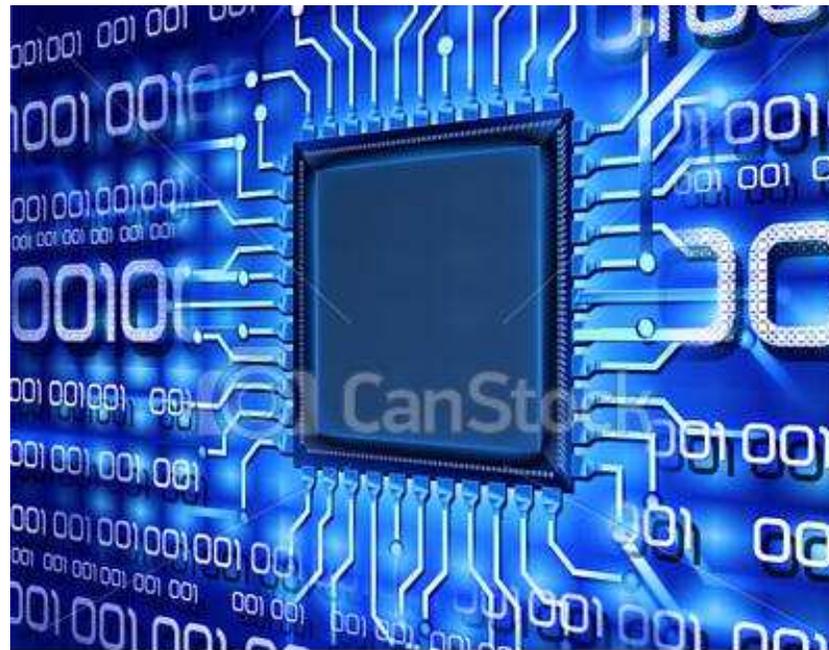
Et pour terminer

Une URL du panorama des projets SDR en cours

<http://www.scoop.it/t/low-cost-software-defined-radio-sdr-panorama>



Pistes d'améliorations possibles



© Can Stock Photo - csp5323869



Amélioration de la couverture des dongles

Upconverter HF opendous : Convertisseur HF pour 45\$

<http://code.google.com/p/opendous/wiki/Upconverter>





Amélioration de la sensibilité

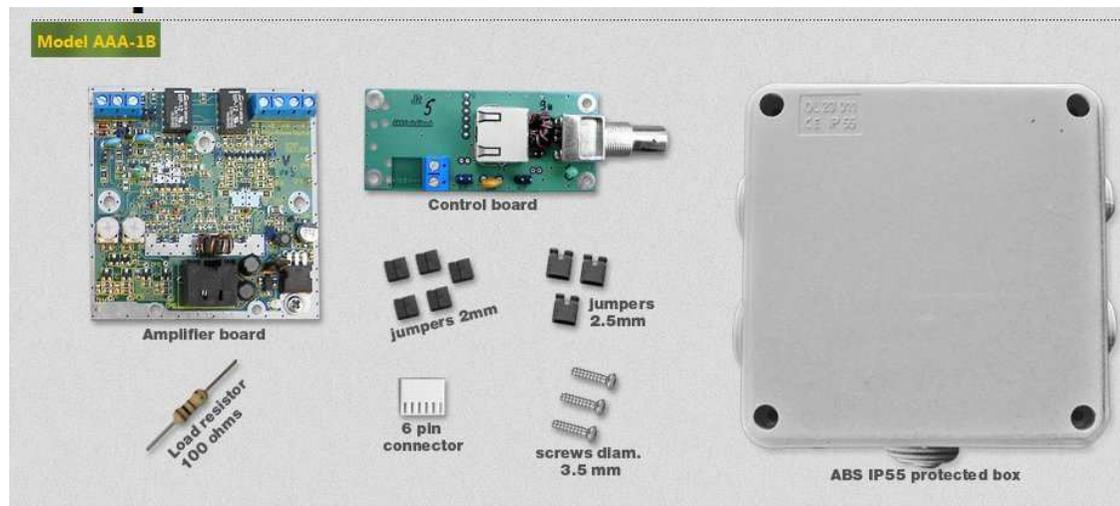
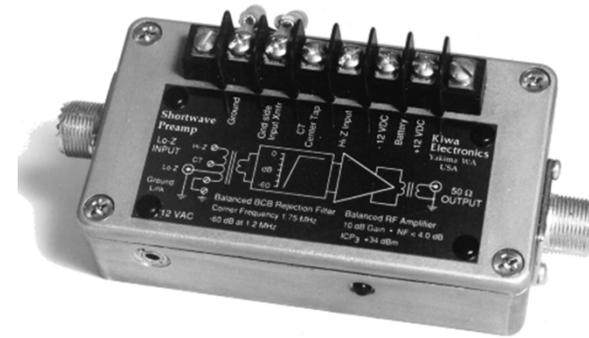
Des différences entre les Dongles R820T à priori meilleur que l'E4000



Ajout de filtres, LNA, preamplis, ... :

<http://www.kiwa.com/swpre.html>

<http://www.lz1aq.signacor.com/> pour 80€





Améliorations de l'ergonomie

Quelques accessoires pour retrouver des boutons comme avant 😊 !

- Molette Griffin Powermate (Chez RFHAM ou directement chez Griffin)



https://store.griffintechology.com/catalogsearch/result/?q=powermate&op=Search&form_build_id=form-583c14fd8834642c5d12e0173e737fdb&form_id=search_theme_form

- Par le détournement de l'utilisation de platine Hercules DJ Controller (cf site de DH1TW)

<http://www.dh1tw.de/disc-jockeys-influence-on-sdr>

<http://www.hamradioscience.com/control-powersdr-with-the-hercules-dj-control-mp3-e2/>



- E-Coder Pro disponible chez sunsdr :



- Commande T-MATE (Version1 et 2) de chez WoodboxRadio (Italie)

<http://www.woodboxradio.com/>





Améliorations de l'ergonomie

- Vumètres virtuels et autres accessoires virtuels disponibles chez woodboxradio :
<http://www.woodboxradio.com/>



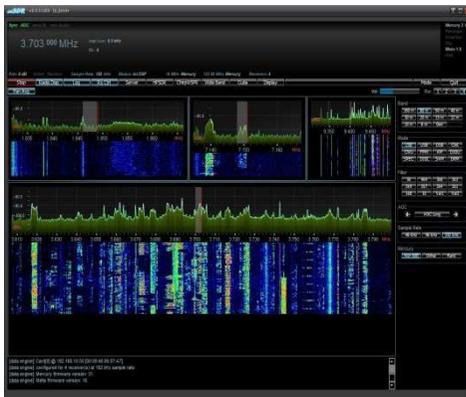
- Soft FX-Pad (Pour FlexRadio Uniquement ☹ !) sur HamPad à base d'écran tactile
<http://www.mimomonitors.com/pages/customer-support>
<http://www.woodboxradio.com/>



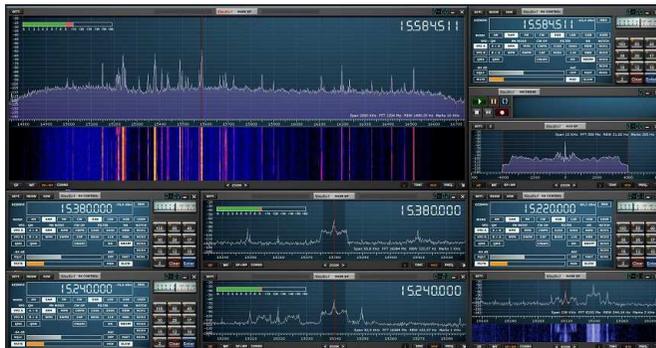


Multiréception (Multi Instances)

- avec cuSDR de DL3HVH
http://svn.tapr.org/repos_sdr_hpsdr/trunk/DL3HVH/cuSDR32/



- Avec Studio 1 plusieurs instances sur 1 hardware ou plus de woodboxRadio



Studio 1
Software Defined Radio
by SDR Applications

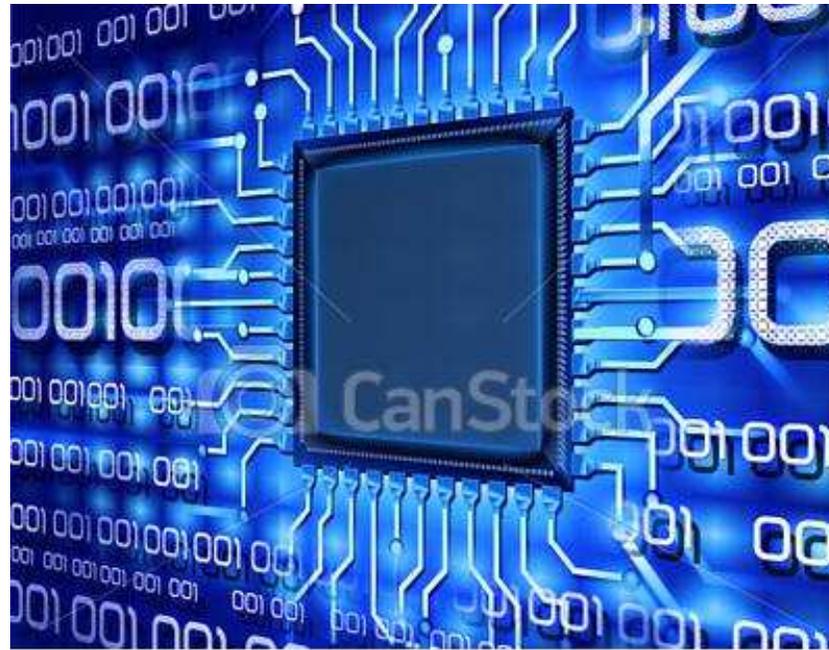
F8GHE
.....



Multiréception (Multi Instances)

- avec MOBO 4.3
 - https://sites.google.com/site/lofturj/mobo4_3
- Cf blog de F6ITU + video sur liens sur Bingo

Annexe : VNA (Vector Network Analyser)



© Can Stock Photo - csp5323869

VNA with Hermes PCA

HamVNA

<http://www.dxatlas.com/HamVNA/>

Reflexion Bridge

<http://www.wetterlin.org/sam/Reflection/3BeadBalunBridge.pdf>

Hermes

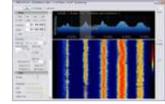
<http://k9ivb.net/Hermes/index.htm>

Annexe : Softwares



© Can Stock Photo - csp5323869

Liste des softwares



Softwares from <http://www.w2blc.net/linkcdr.htm>

[HSDR](#)

[HPSDR](#)

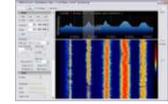
[Linrad](#)

[QUISK](#)

[SDR-Radio.com](#)

[USB Control \(libusb-win32\)](#)

[Winrad.org](#)



Liste des softwares

- Information

[CuteSDR Yahoo Group](#)

[N2ADR SDR Transceiver Yahoo Group](#)

[Power SDR Yahoo Group](#)

[SDR Wiki](#)

[SoftRock SDR Yahoo Group](#)

[WB5RVZ Software Defined Radio Homepage](#)

- Making it Work

[AQRP Yahoo Group](#)

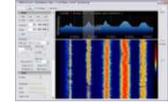
[Configuring a Softrock SDR](#)

[Firmware USB AVR Si570Controler](#)

[SDR with Soundcard Basic Fault](#)

[Softrock SDR and the Si570](#)

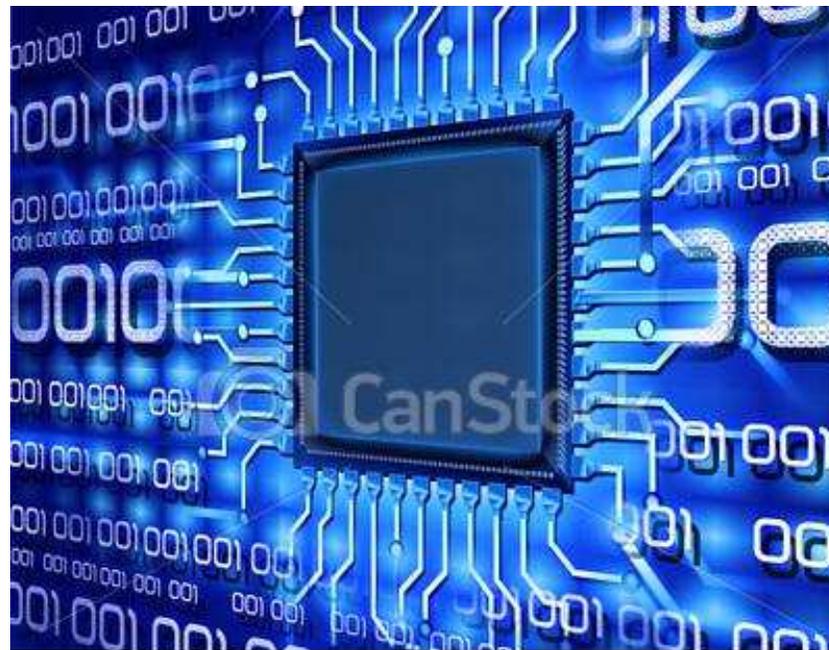
[User Guide for PE0FKO v15.10 & v15.11 Firmware](#)



What is Software Defined Radio?

- Hardware
 - [FUNcube Dongle](#)
 - [Genesis Radio](#)
 - [I0CG Receiver Project](#)
 - [Kanga Products](#)
 - [KM5H Enclosures for SoftRocks](#)
 - [Lazy Dog Engineering](#)
 - [LP-PAN](#)
 - [Mobokits & Widgets](#)
 - [Perseus](#)
 - [PM-SDR switch plug-in](#)
 - [Receive Only Processing](#)
 - [Receiver Guard](#)
 - [RF System](#)
 - [RFspace SDR-IQ](#)
 - [SDR-Kits.net](#)
 - [SoftRock Radio Kits](#)
 - [YouKits](#)
 - [WB6DHW boards for sale](#)
 - [WoodBoxRadio](#)

Annexe : Bibliographie



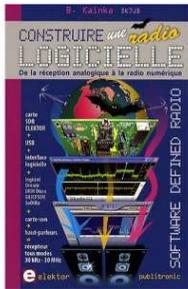
© Can Stock Photo – csp5323869



Bibliographie

Construire une radio logicielle (32€): De la réception analogique à la radio numérique [Broché] de Burkhard Kainka (Auteur), Jean-Paul Brodier (Traduction) <http://www.amazon.fr/Construire-une-radio-logicielle-analogique/dp/2866611632>

Construire des récepteurs de radio numérique sur ondes courtes [Broché] de B. Kainka (Auteur) http://www.amazon.fr/Construire-r%C3%A9cepteurs-radio-num%C3%A9rique-courtes/dp/2866611578/ref=pd_bxgy_b_text_y

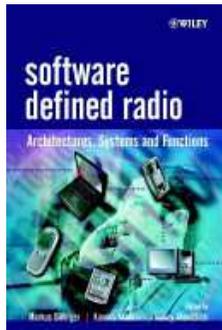




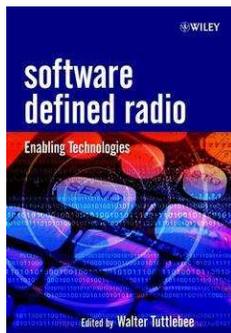
Bibliographie en anglais

- Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions de [Markus Dillinger](#), [Kambiz Madani](#), [Nancy Alonistioti](#)

<http://www.amazon.fr/Software-Defined-Radio-Architectures-Functions/dp/0470851643>



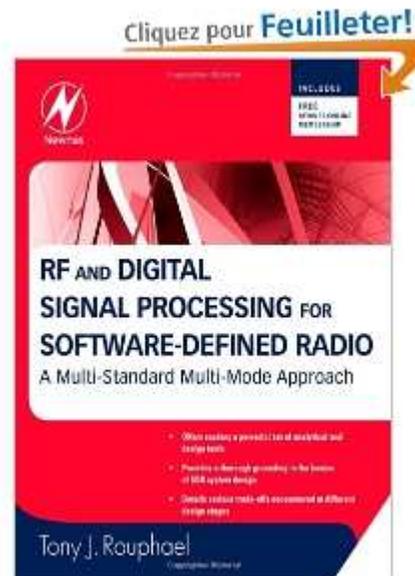
- **Software defined radio : enabling technologies**
- **Auteur : TUTTLEBEE Walter**
- <http://www.lavoisier.fr/livre/notice.asp?ouvrage=1351599>





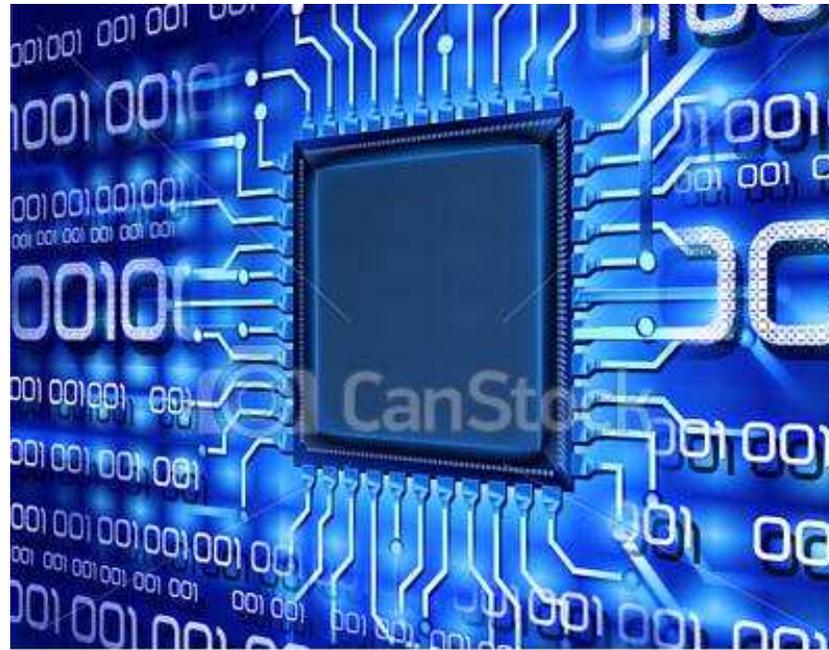
Bibliographie en anglais

- **RF and Digital Signal Processing for Software-Defined Radio: A Multi-Standard Multi-Mode Approach [Anglais] [Broché]**
- **Tony J. Roupael** (Auteur)



- https://www.google.fr/search?q=software+defined+radio+books+free+download&hl=fr&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=BJ1LUeihMMWt0QWApYDQDg&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1252&bih=611
- software defined radio books free download

Annexe : Autres URLs



© Can Stock Photo - csp5323869



Liens Web

- Radio amateur 3eme edition (Olivier Pilloud) 54,00 €
- <http://www.mindbites.com/search?q=2445&commit> = video sur signaux i/q
- <http://www.home.agilent.com/agilent/editorial.aspx?cc=FR&lc=fre&ckey=1756523&id=1756523>
- <http://jredoutey.free.fr/Radiocom/> cours melangeurs etc...
- <http://www.fourier-series.com/IQMod/index.html>
- <http://www.geocities.ws/cittaduale/ddc.htm> ddc etc ..
- <http://www.linear.com/designtools/software/#Filter> filtre numerique
- <https://sdrzone.com/> Portail SDR
- http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_software-defined_radios Liste des radios SDR
- http://www.dxzone.com/catalog/Software/Software_Defined_Radio/ SDR PC software

- <https://sites.google.com/site/bingo07qrphomebuilder/construction-emetteur-recepteur-cw-sdr-fox-one-2012>

Bingo de Bernard Mourot

<http://www.elektor.fr/forum/forum/realisations-publiees-par-elektor/software-defined-radio.251176.lynkx?pageStart=31> elector

<http://www.crosscountrywireless.net/sdr-4.htm> sdr4+

<http://www.sdr-radio.com/central/Default.aspx>

Quelques Blogs sur le SDR

RTL-SDR

<http://rtl-sdr.sceners.org/>

<http://www.rtl-sdr.com/>

Hermes

<http://k9ivb.net/Hermes/index.htm>

Généralistes

<https://sdrzone.com/>

Other links

Design d'un SDR HF avec LTSPICE

<http://ea4nz.ure.es/sdr/sdr.html>

Calculateur antenne Lna etc.

http://www.changpuak.ch/electronics/Dipole_folded.php

Lna design

<http://rtl-sdr.sceners.org/?p=159>



F8GHE

