

SDR

Comment ça marche ?

1

sdr.04.odp



Licence



• **Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -**

• **Partage des Conditions Initiales à l'Identique 2.0 France**

• Vous êtes libres :

- * de reproduire, distribuer et communiquer cette création au public
- * de modifier cette création, selon les conditions suivantes :

• **Paternité.** Vous devez citer le nom de l'auteur original.

• **Pas d'Utilisation Commerciale.**

• Vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales.

• **Partage des Conditions Initiales à l'Identique.**

• Si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création,

• vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte

• que sous un contrat identique à celui-ci.

• * A chaque réutilisation ou distribution, vous devez faire apparaître clairement aux autres les conditions contractuelles de mise à disposition de cette création.

• * Chacune de ces conditions peut être levée si vous obtenez l'autorisation du titulaire des droits

• Ce qui précède n'affecte en rien vos droits en tant qu'utilisateur (exceptions au droit d'auteur :

• copies réservées à l'usage privé du copiste, courtes citations, parodie...)

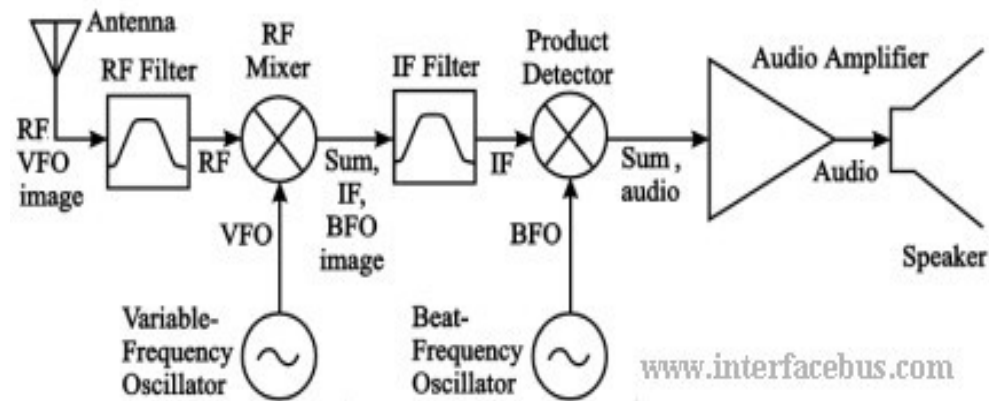
• voir le contrat complet sous : <http://fr.creativecommons.org/contrats.htm>



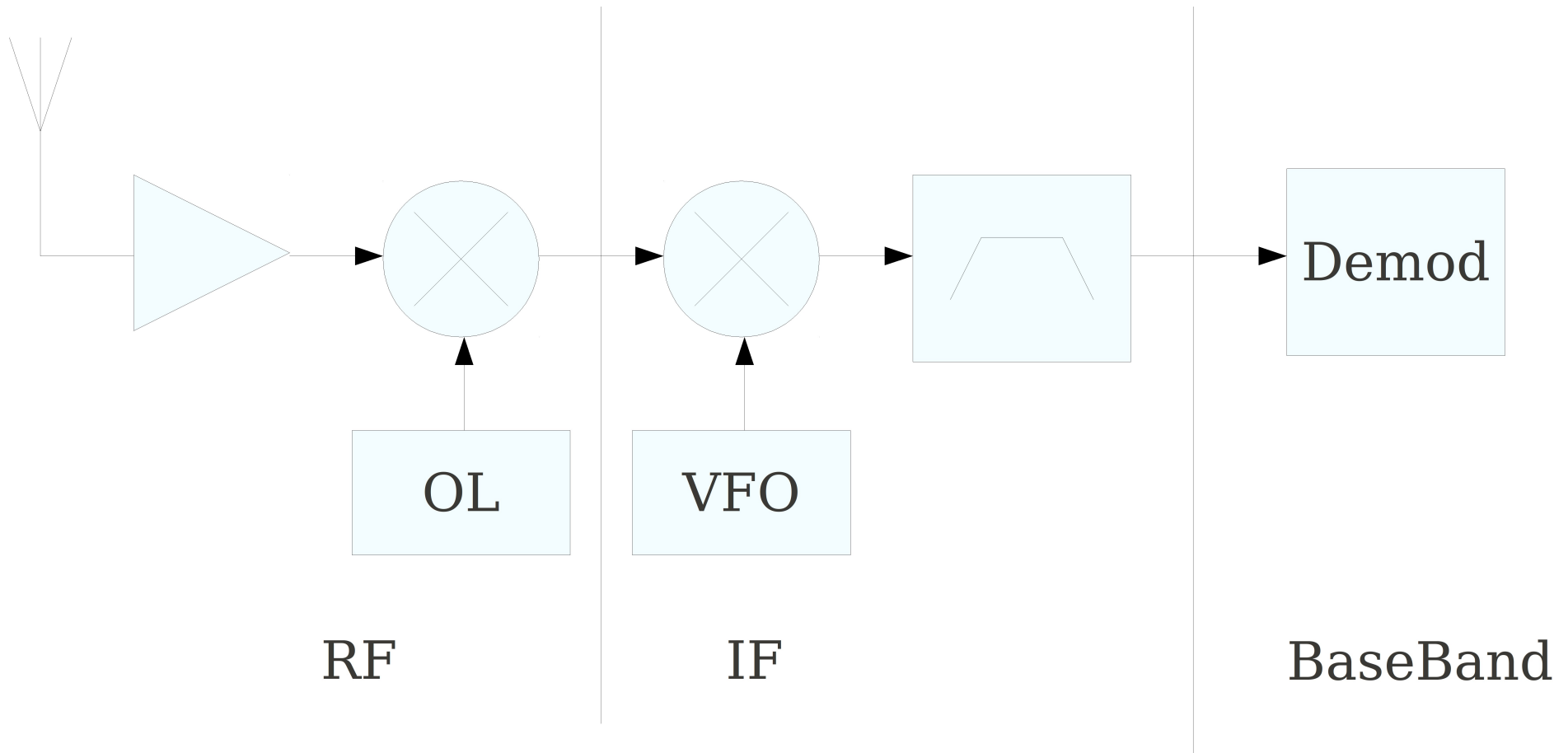
Récepteur analogique classique

Conversion directe, simple ou double changement de fréquence.

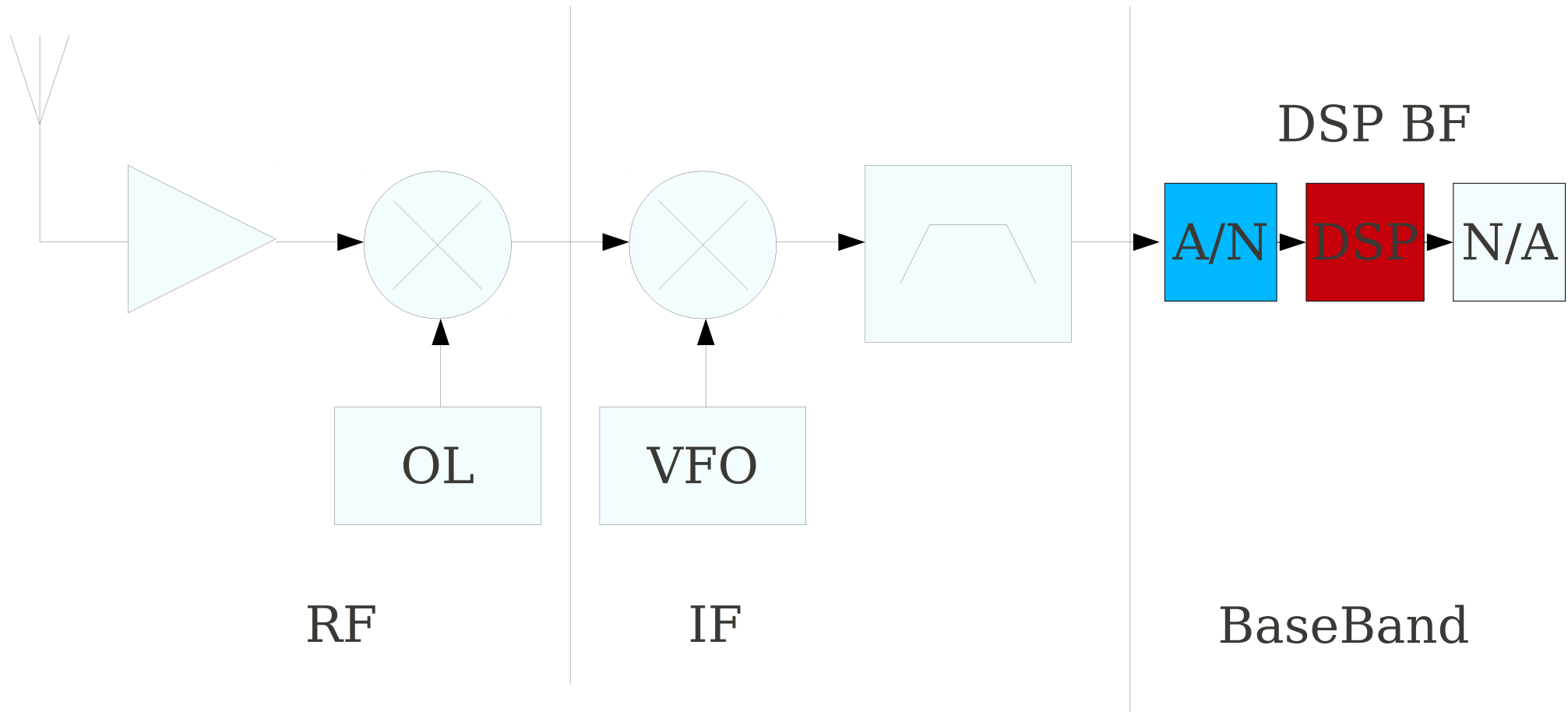
Démodulation analogique : détection, BFO , PLL, ...



Traitements dans un récepteur

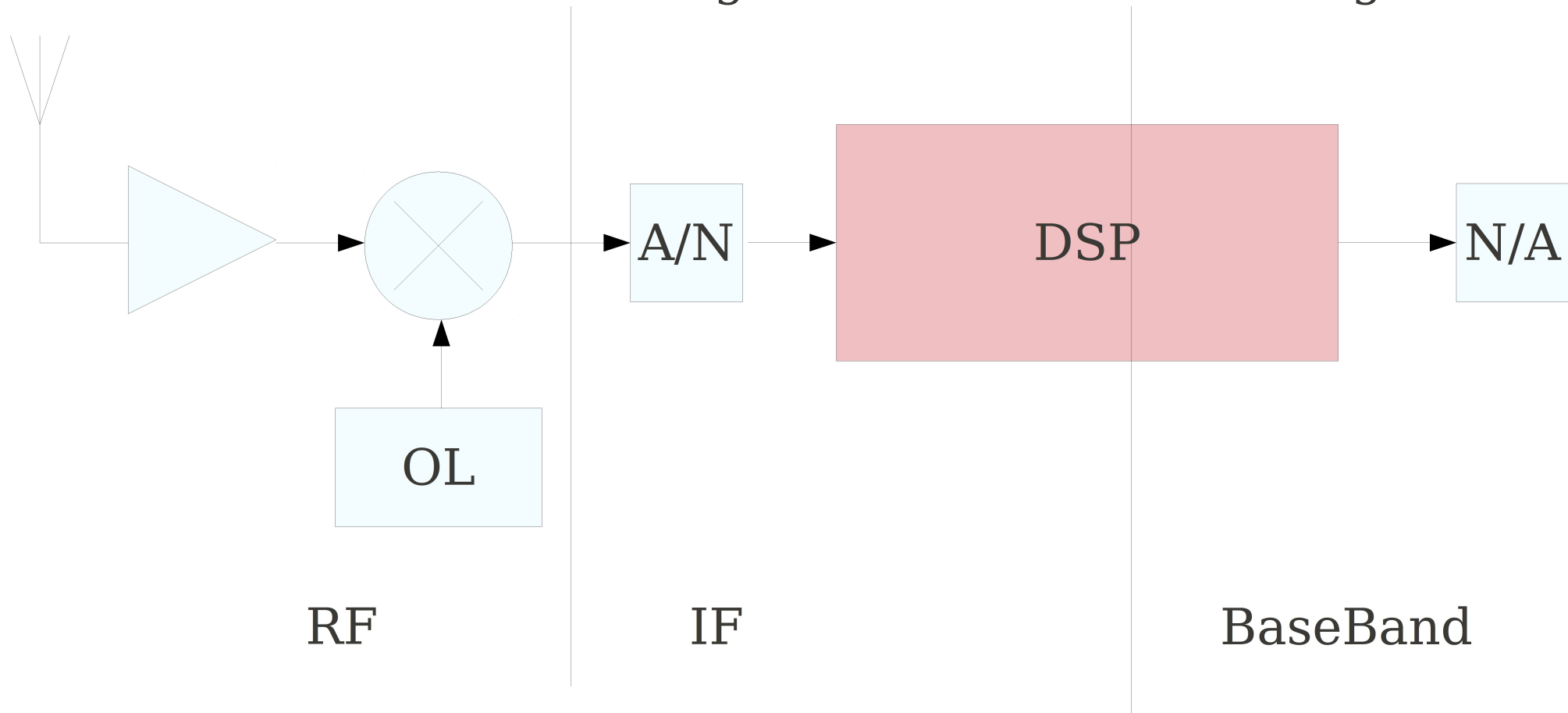


Démodulation logicielle



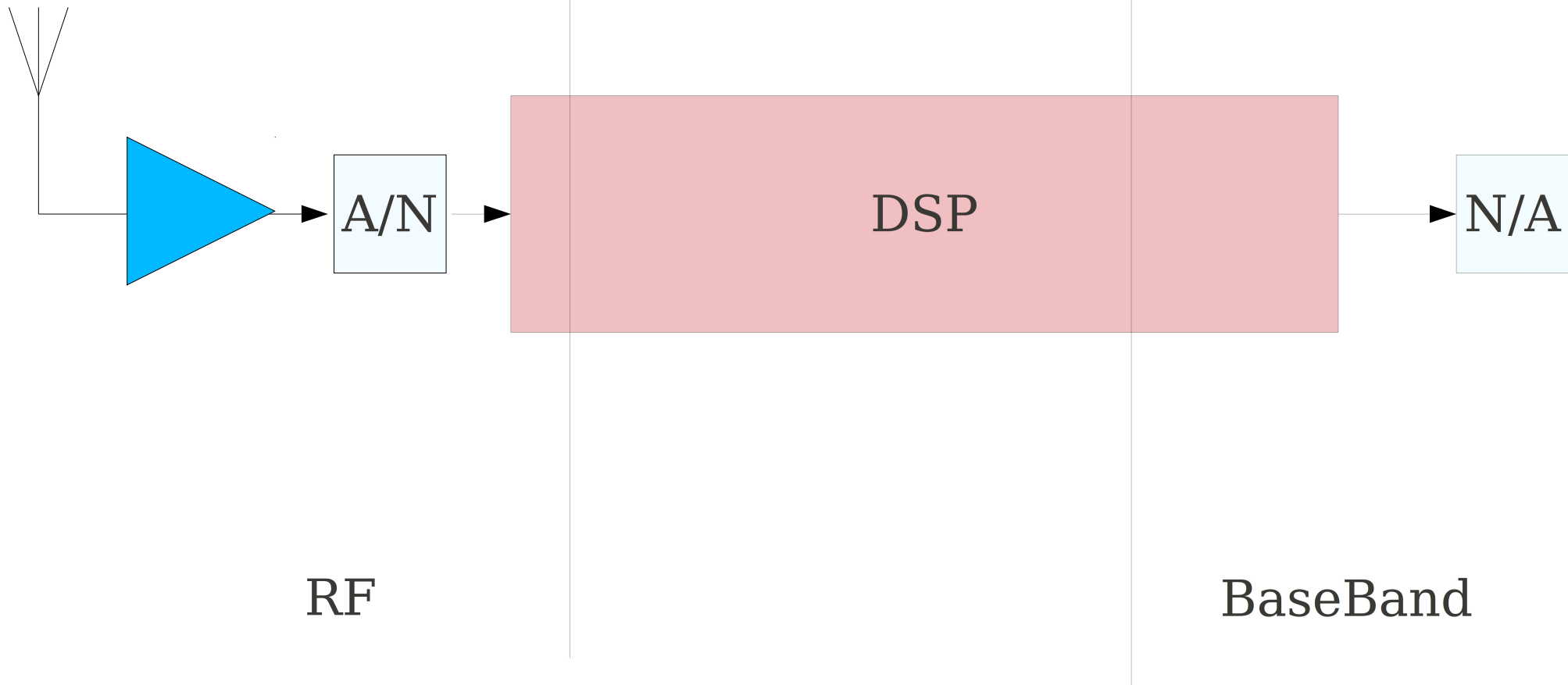
Numérisation dès la FI

Filtrage FI et démodulation logiciels



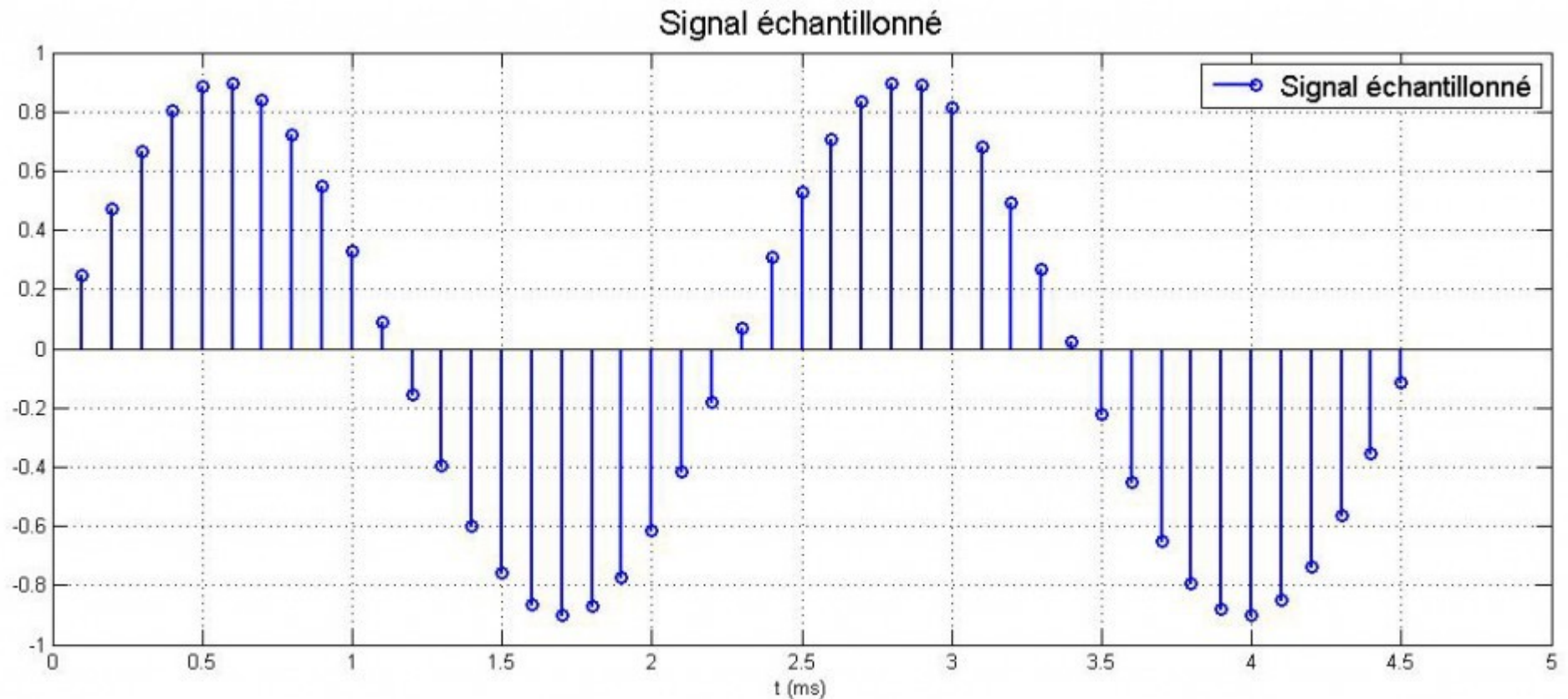
Numérisation directe

Filtrage RF et démodulation logiciels



Échantillonnage d'un signal

On prélève la valeur d'un signal à intervalle de temps réguliers T_e .



Fréquence d'échantillonnage $F_e (= 1/T_e)$

Échantillonnage d'un signal

Échantillonner un signal revient à multiplier celui ci avec une "fonction d'échantillonnage"

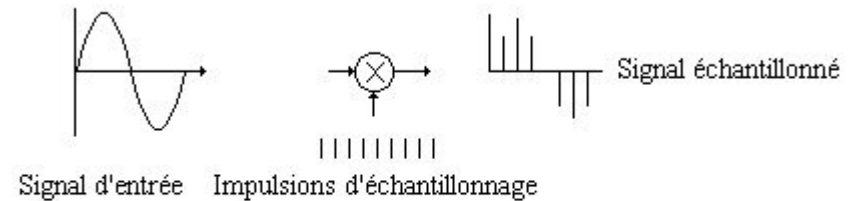
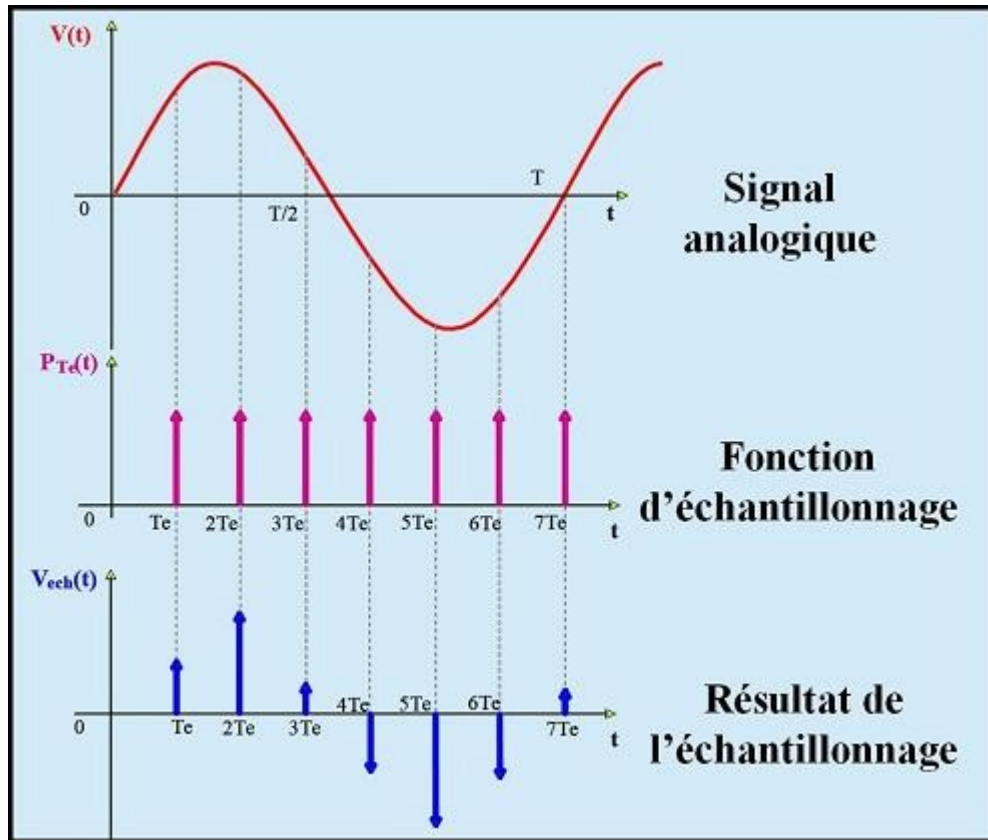


Fig.2 Multiplication ou Mélange

Le minimum de math...

$$\cos(a) \times \cos(b) = \frac{1}{2} \cdot \cos(a+b) + \frac{1}{2} \cdot \cos(a-b)$$

$$V_1(t) = A_1(t) \cdot \cos(\omega_1 t) \quad \omega_1 = 2\pi f_1$$

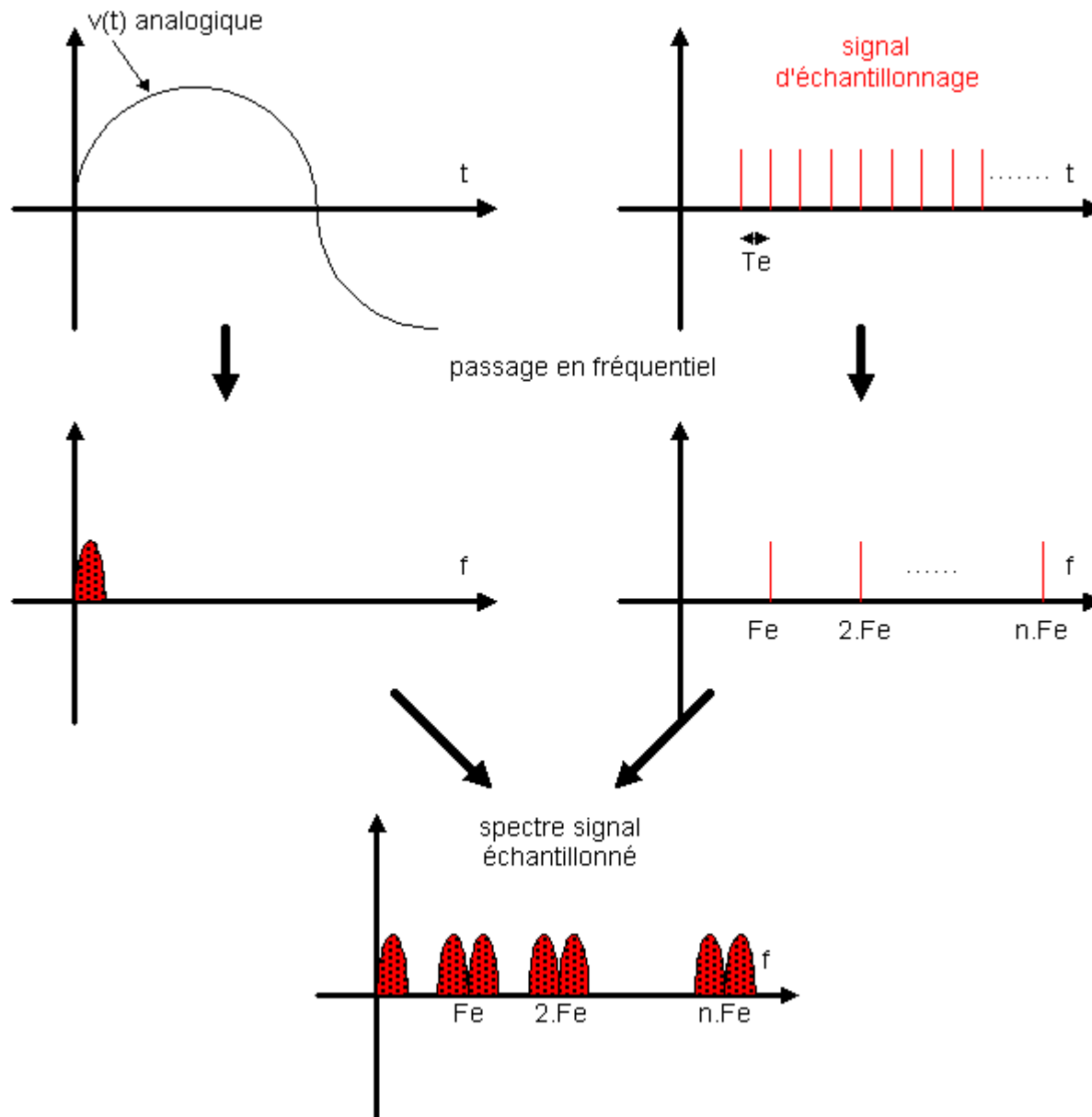
$$V_2(t) = A_2(t) \cdot \cos(\omega_2 t) \quad \omega_2 = 2\pi f_2$$

Dans le spectre d'un produit, on va donc retrouver une composante à la somme et une composante à la différence des deux fréquences.

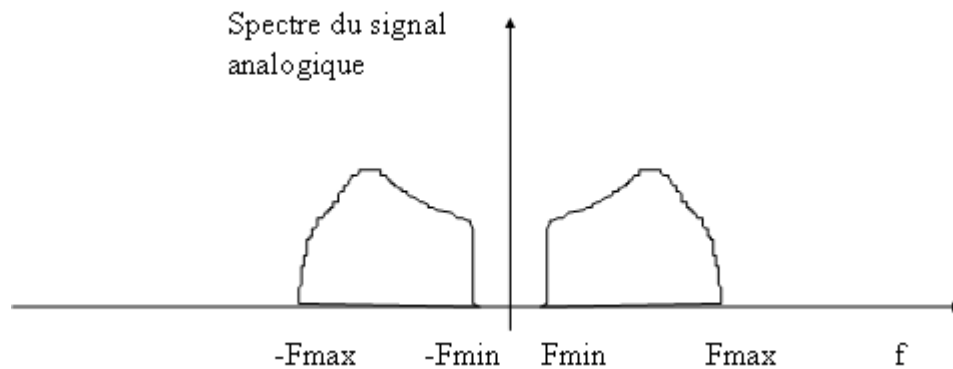
$$V_1(t) \times V_2(t) = + \frac{[A_1(t) A_2(t)]}{2} \cdot \cos((\omega_1 + \omega_2)t) \\ + \frac{[A_1(t) A_2(t)]}{2} \cdot \cos((\omega_1 - \omega_2)t)$$



Spectre du signal échantillonné



Spectre d'un signal échantillonné



On retrouve une réplique du spectre autour des multiples de la fréquence d'échantillonnage

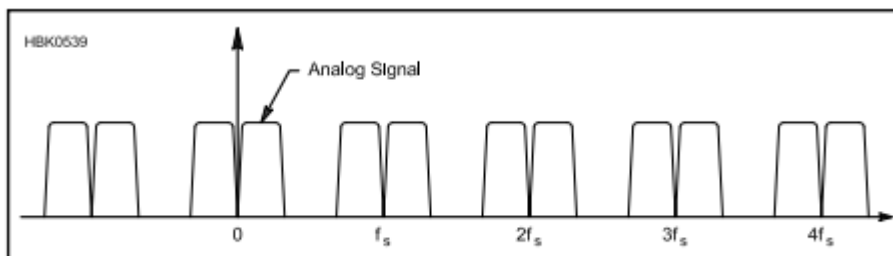
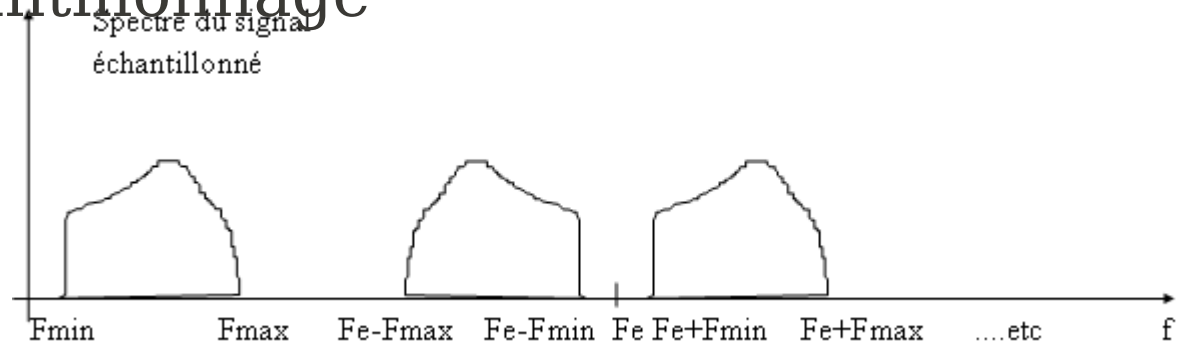
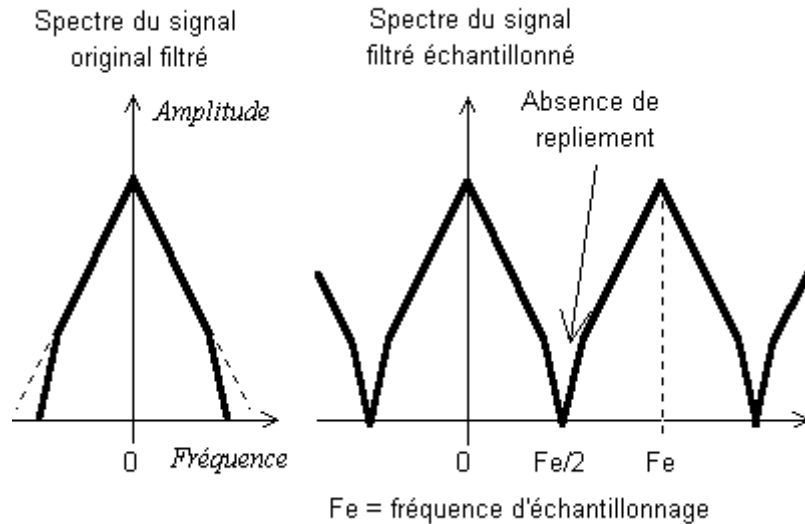


Fig 15.6 — An ideal sampled signal repeats the spectrum of the analog signal at all harmonics of the sample rate, f_s .

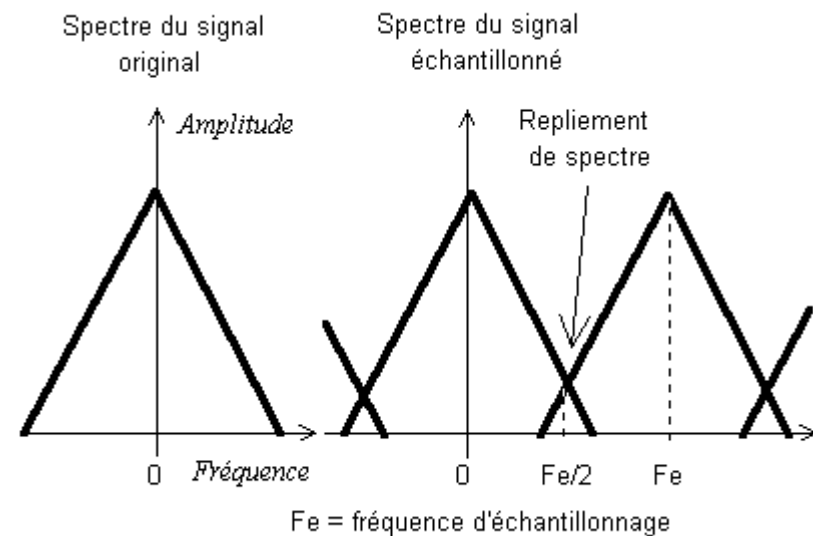
Critère de Shannon



Pour échantillonner correctement un signal
Il faut $F_e > 2F_{max}$

$2F_{max}$ = Freq de Nyquist

Si la condition n'est pas respectée, il y a repliement du spectre et donc distorsion du signal original.



Sous échantillonnage

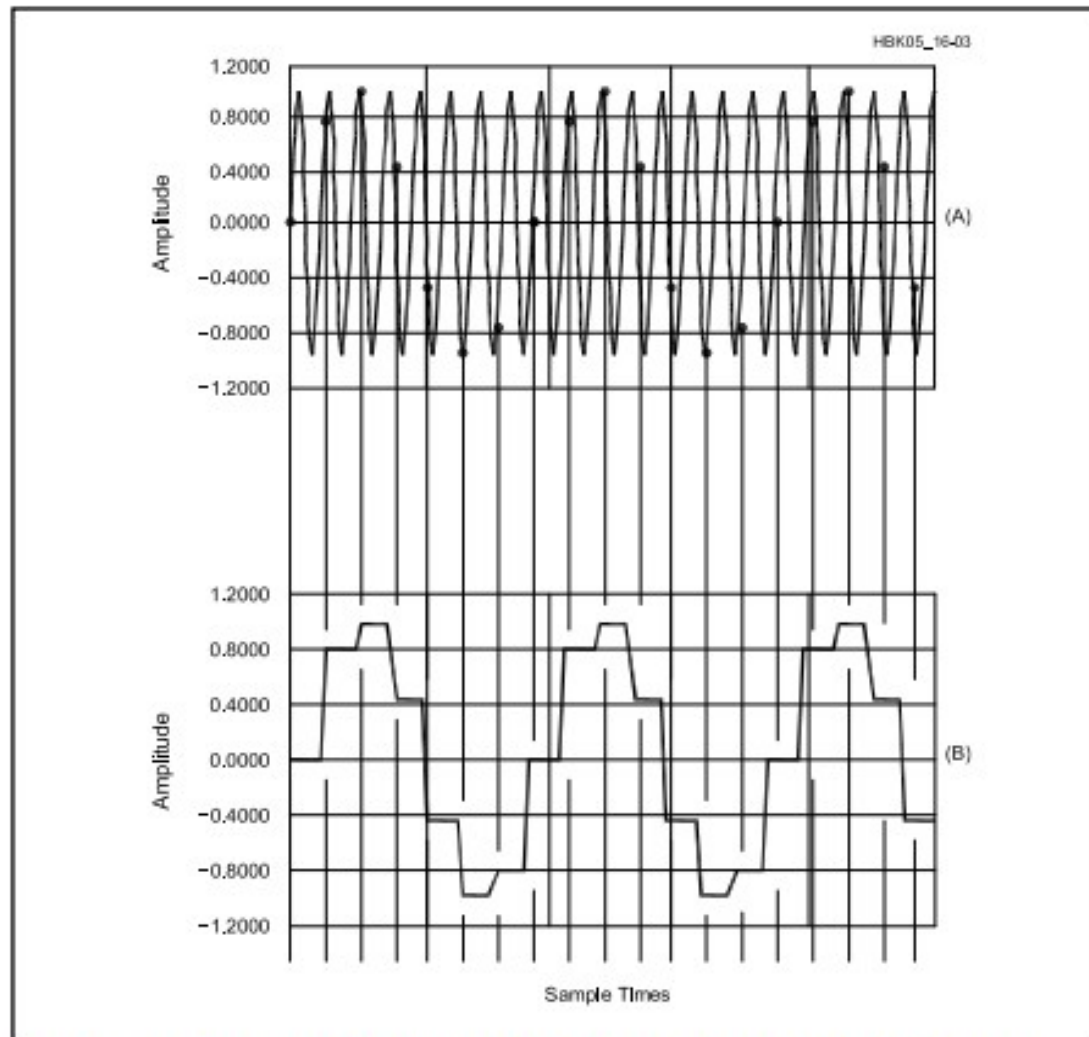


Fig 15.3 — Undersampled sine wave (A). Samples aliased to a lower frequency (B).

Critère de Shannon (bande étroite)

Si un signal à un spectre concentré autour d'une bande de fréquence suffisamment étroite, on peut échantillonner à une fréquence beaucoup plus faible que la fréquence de Nyquist : sous échantillonnage.

Exemple : un signal usb FI à 455KHz peut être échantillonné à 48KHz par exemple



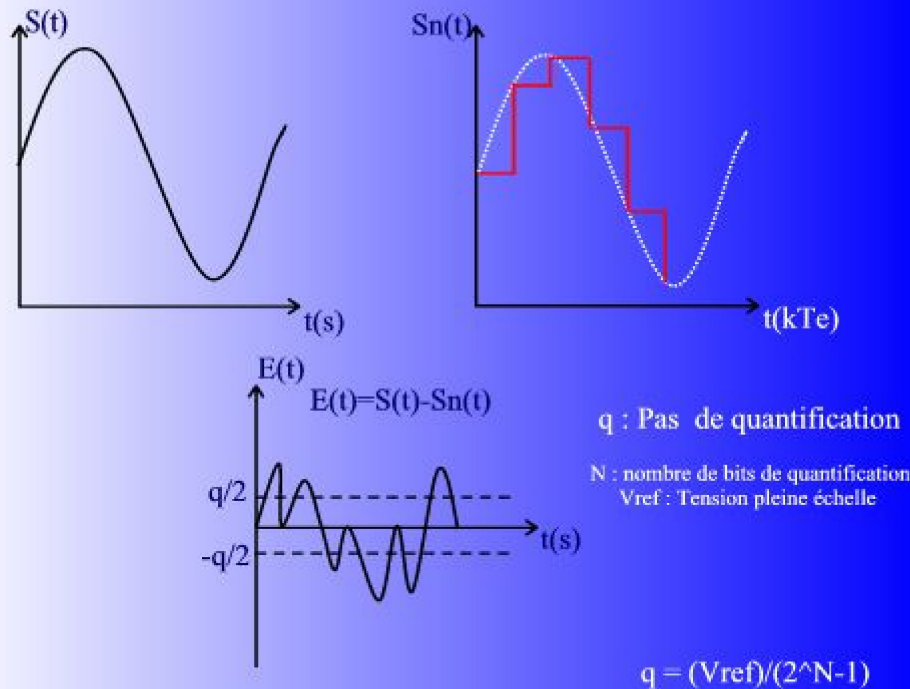
Quantification

Un convertisseur analogique/numérique quantifie le signal échantillonné sur un certain nombre de niveaux :

8bits : 256 niveaux , 12 bits : 4096, 16bits : 65536

(N bits : 2^N niveaux)

Cette quantification introduit des erreurs qui se comportent comme un bruit ajouté au signal.



$$SNR_{th} = 6.02N + 1.76 \text{ dB}$$

Valeur théorique pour une sinusoïde à pleine échelle

Bruit de quantification

Le bruit de quantification est réparti sur toute la bande de Fréquence de 0 à F_e . Si le signal utile ne couvre qu'une partie B de cette bande, le SNR effectif sera meilleur :

$$\text{SNR} = \text{SNR}_{\text{th}} + 10 \log(\text{Fe}/2\text{B}) \text{ (Valeur max théorique)}$$

Par exemple un signal audio de $B=3\text{KHz}$ est échantillonné à 11KHz sur 16 bits: $\text{SNR} = 98,08 + 2,63 = 100 \text{ dB}$
à 44KHz sur 16 bits : $\text{SNR} = 98,08 + 8,65 = 106 \text{ dB}$
à 44KHz sur 8 bits : $\text{SNR} = 49,8 + 8,65 = 58,41 \text{ dB}$

En pratique on obtient 6 à 12 dB de moins !

On a donc intérêt à avoir F_e et N élevés !
Mais ça demande plus de puissance de calcul !

Bruit de quantification

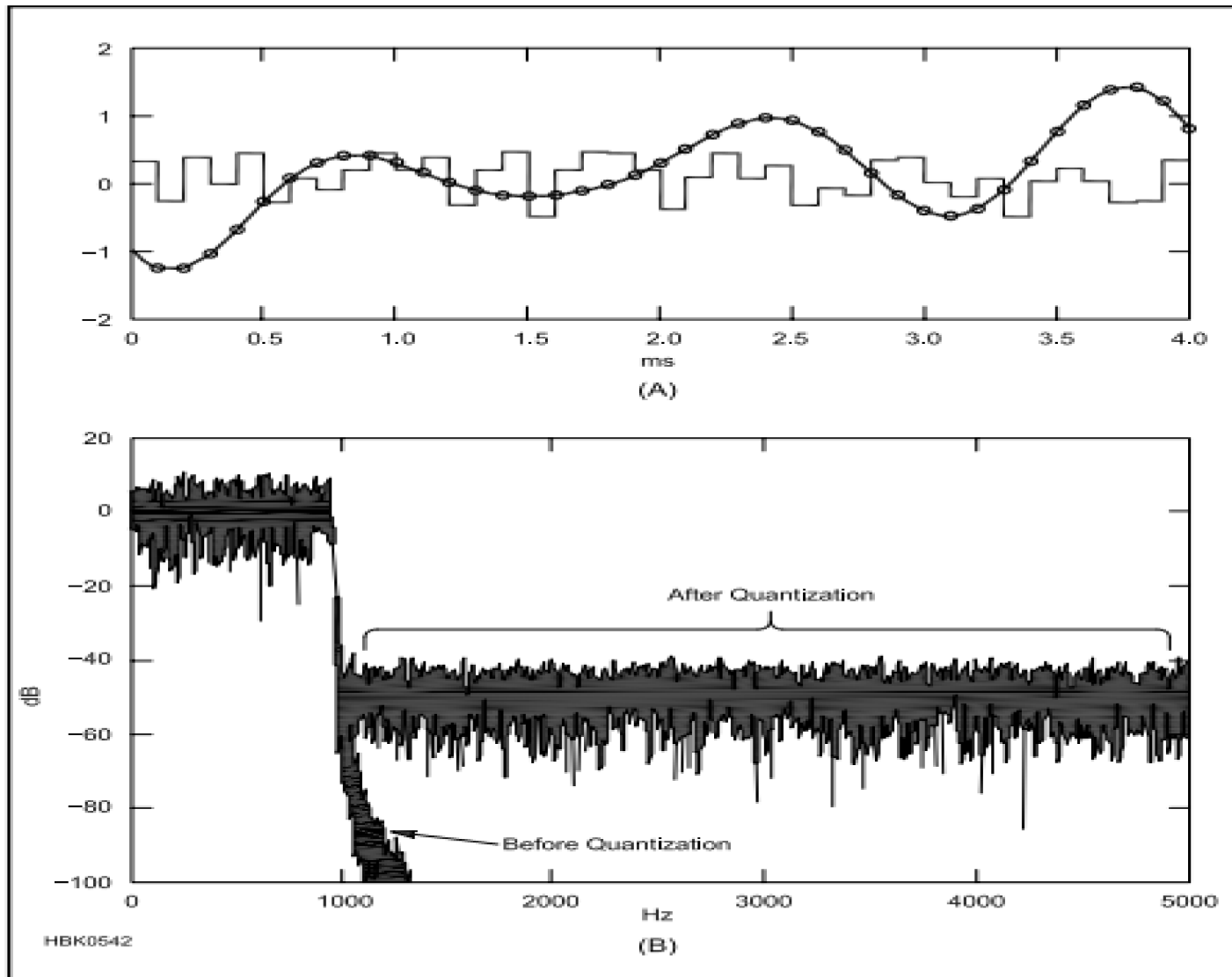


Fig 15.9 — Quantization error of a random noise signal that has been band-limited to 1 kHz to simulate an audio signal. (A) The sampler resolution is 8 bits and the sample rate is 10 kHz. Sample values are indicated by circles. Also shown is the quantization error, in units of LSB. Below is the frequency spectrum of the signal before and after quantization. (B)

Bruit de quantification

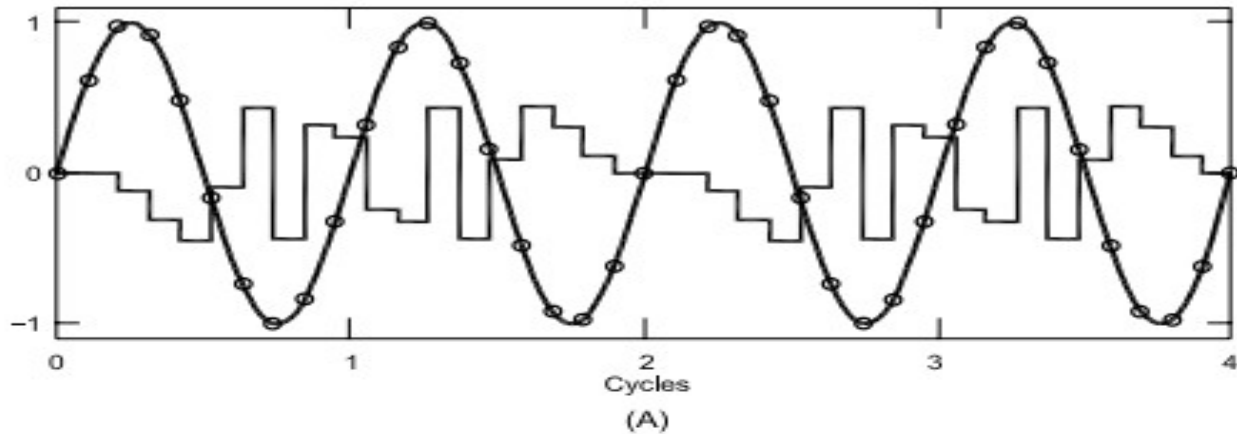
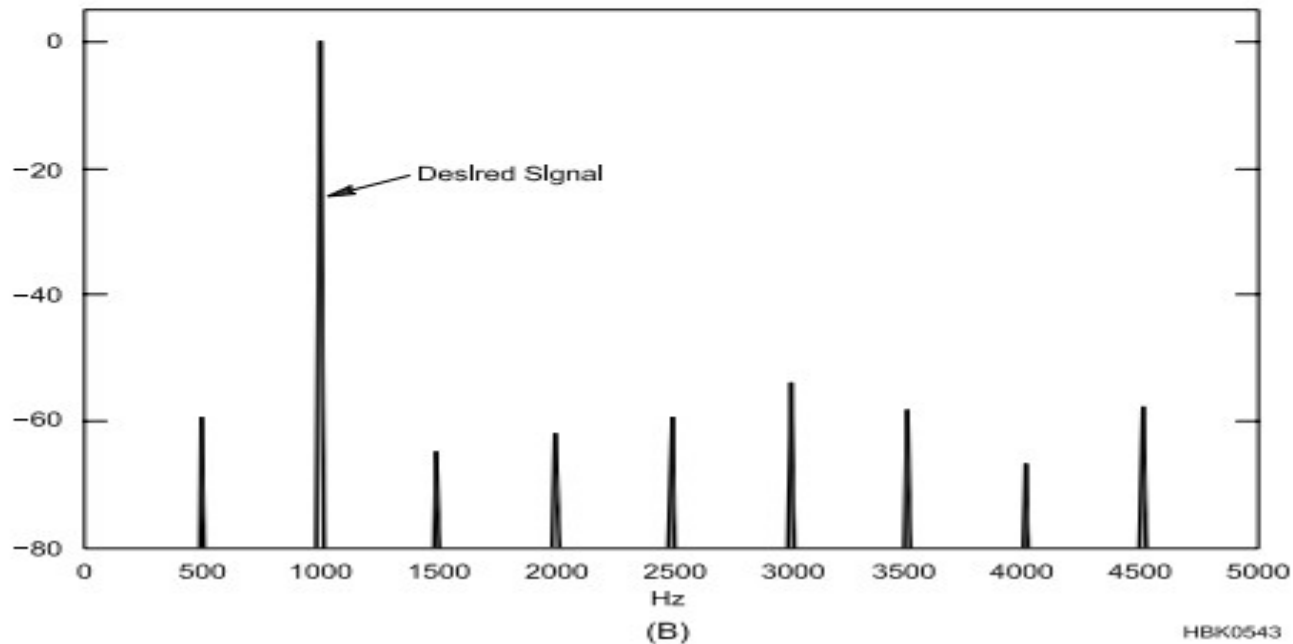


Fig 15.10 — Quantization error of a 1 kHz sine wave sampled at 9.5 kHz with 8-bit resolution (A). Sample values are indicated by circles. Also shown is the quantization error, in units of LSB. Below is the frequency spectrum, showing the spurious frequencies caused by the quantization. (B)



Filtrage numérique

Filtre FIR : finite impulse response

La réponse impulsionnelle devient nulle au bout d'un certain temps...

La sortie est une combinaison des entrées décalées dans le temps multipliée par des coefficients.

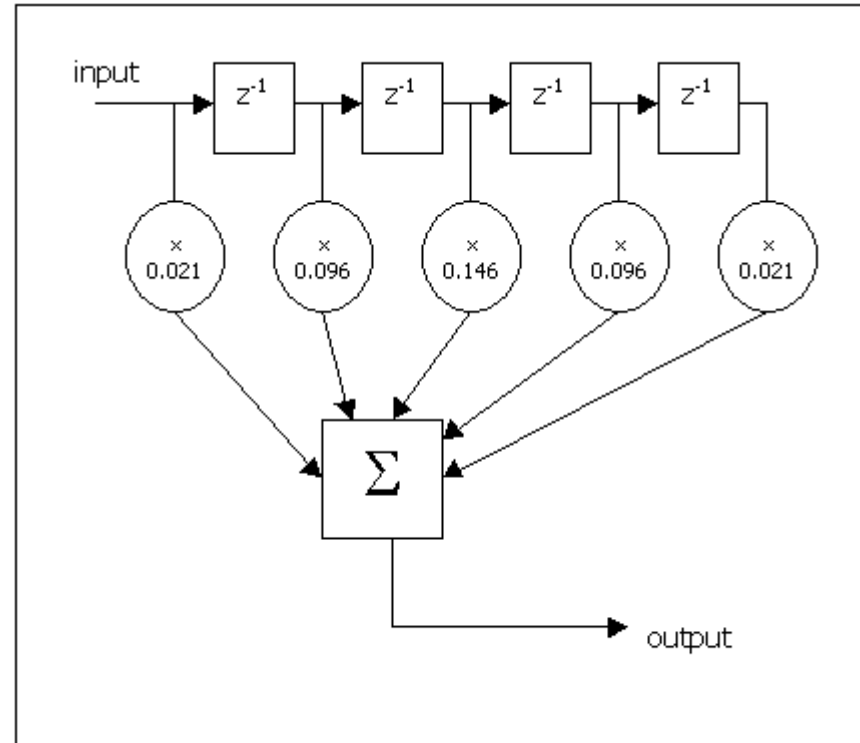
$$s(nTe) = b_0 \times e(nTe) + b_1 \times e((n-1)Te) + b_2 \times e((n-2)Te) + \dots \\ \dots + b_N \times e((n-N)Te)$$

Les valeurs des coefficients b_n , fixent le type de filtre :
passe bas , passe bande , notch,....

Un filtre FIR dont les coefficients sont symétriques est
linéaire en phase : **délais constant en fréquence.**



Exemple filtre FIR



Plus un filtre est étroit , plus il faut de coefficients (taps).
=> retard plus grand , plus de calculs

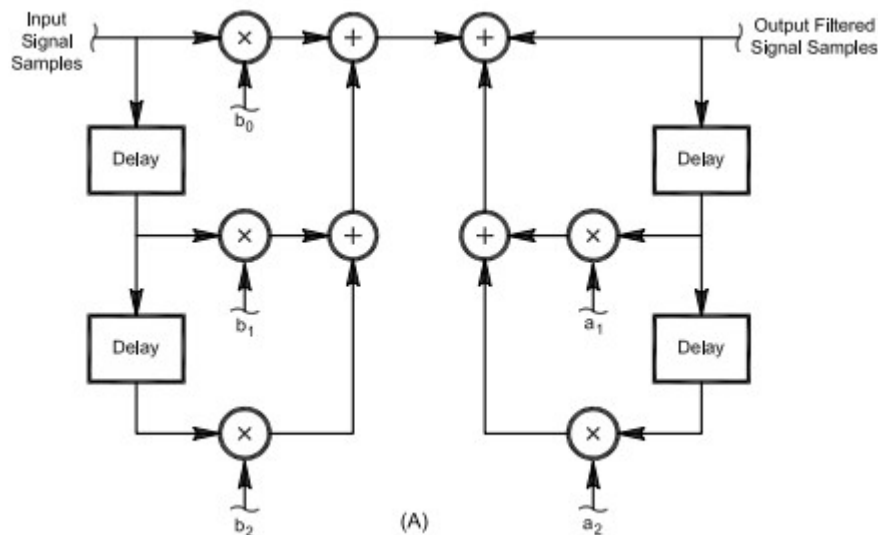
Exemple : un filtre PB 500Hz à $F_e=8\text{kHz}$ nécessite de 50 à 200 coefficients (selon les performances)

Filtre IIR : infinite impulse response

La sortie est une combinaison des entrées décalées et de la sortie.

Moins de coefficients, mais moins linéaire en phase.

$$s(nTe) = b_0 \times e(nTe) + b_1 \times e((n-1)Te) + b_2 \times e((n-2)Te) + \dots \\ \dots + b_N \times e((n-N)Te) \\ - a_1 \times s((n-1)Te) - a_2 \times s((n-2)Te) - \dots \\ - a_M \times s((n-M)Te)$$



ce sont principalement des équivalents des filtres analogiques classiques.

Filtre IIR simple : "RC numérique"

$$y(nTe) = \alpha \times e(nTe) + (1 - \alpha) \times y((n-1)Te)$$

avec α faible

Par exemple avec $\alpha = 0.1$

$$y(nTe) = 0.1 \times e(nTe) + (0.9) \times y((n-1)Te)$$

La sortie vaut 90% de la valeur précédente plus 10% de la nouvelle valeur de l'entrée.

On a donc un filtrage passe bas.

Production des signaux I/Q

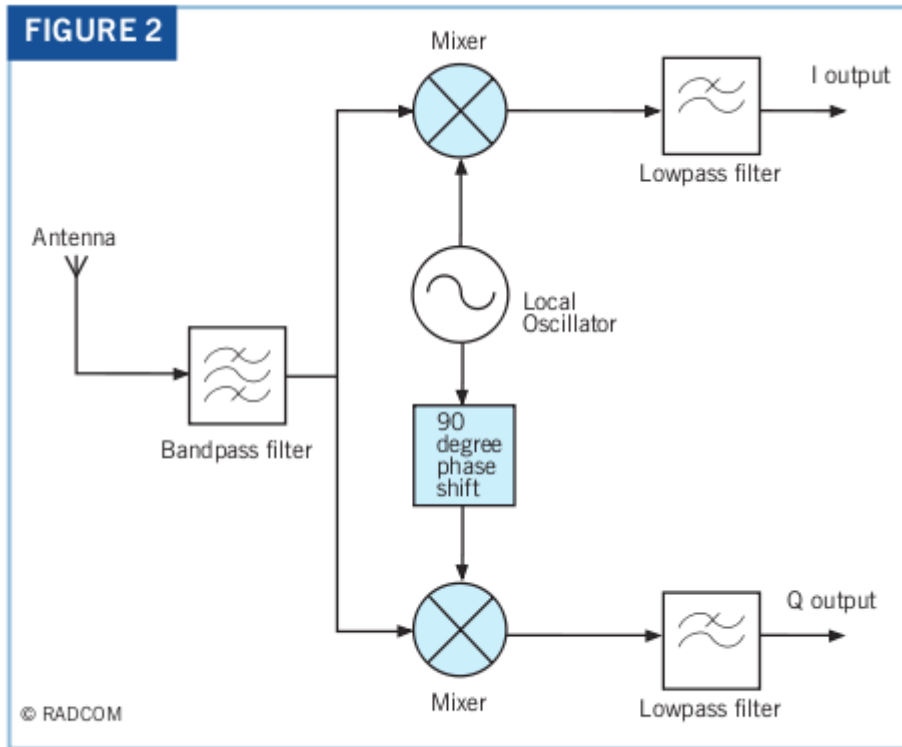


FIGURE 2: SDR FRONT-END.

Ex :

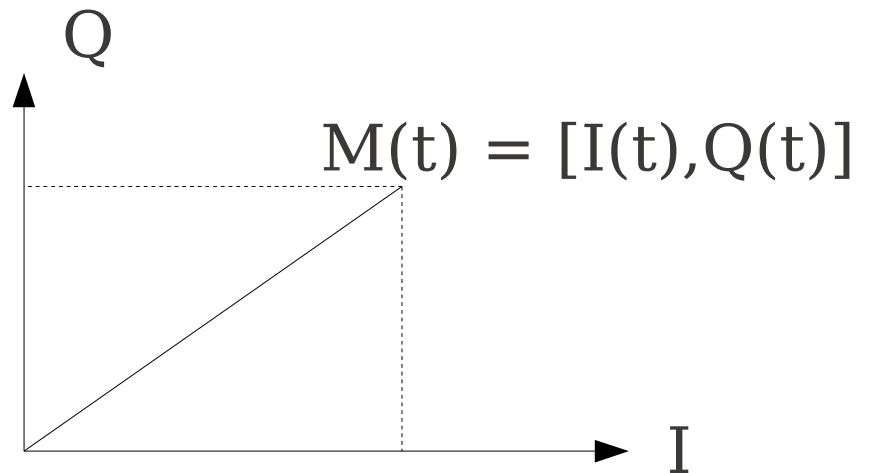
Un signal CW à 14,101 MHz

$F_r = 14,101\text{MHz}$

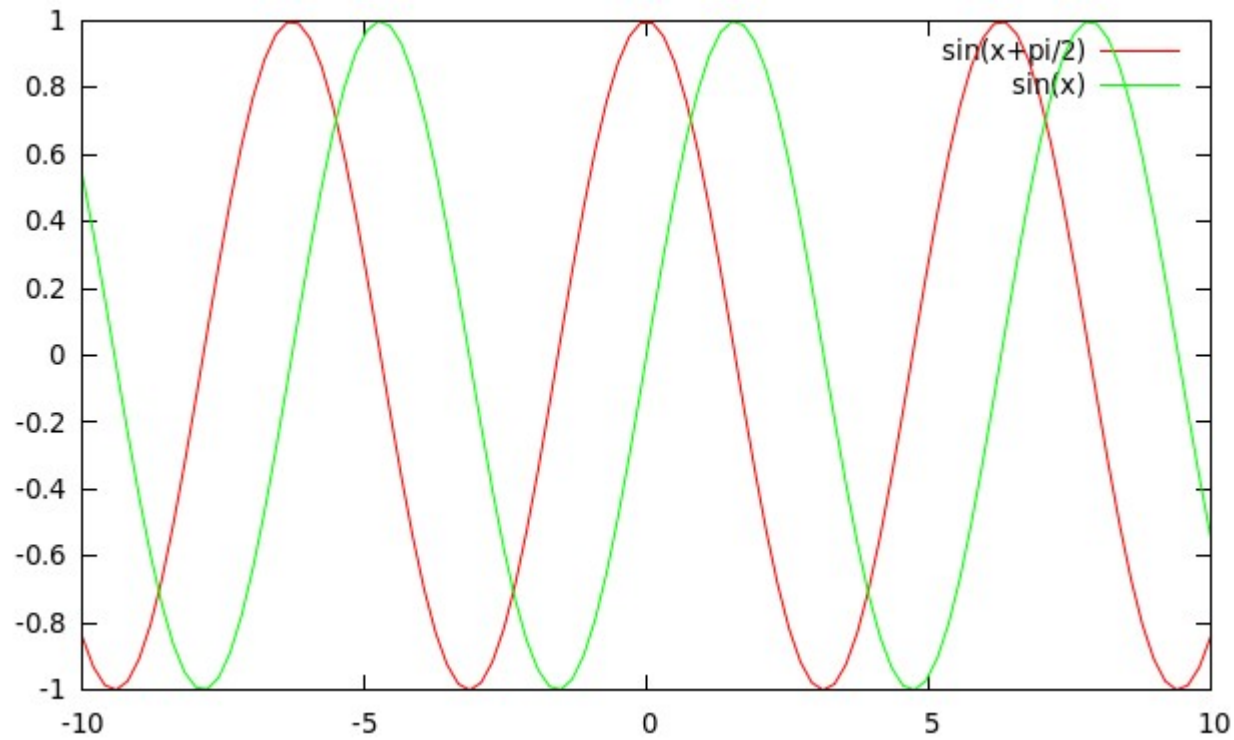
$LO = 14,100\text{ MHz}$

Après filtrage passe bas, on obtient deux signaux à 1kHz, I et Q.

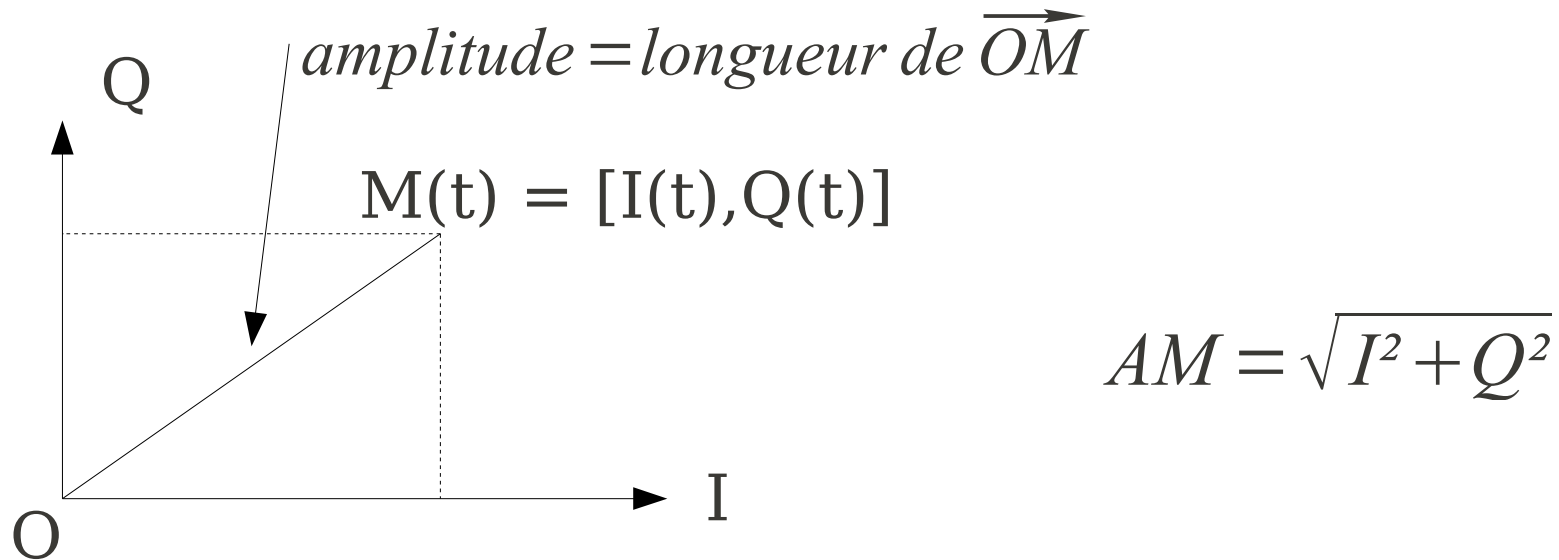
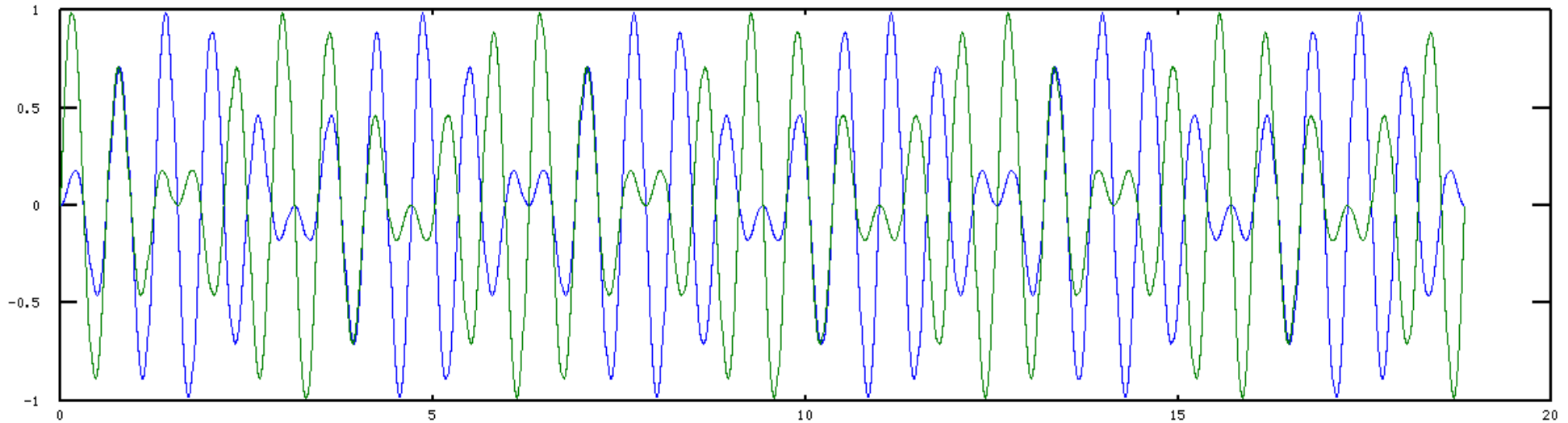
I et Q sont déphasés de 90°



Signaux I et Q



Démodulation AM



Démodulation CW/SSB

Supposons deux signaux à $f_l=14,099$ et $f_u=14,101$ MHz.

$F_{ol} = 14,100$ MHz.

$14,101 - 14,100 = 1\text{kHz}$.

$14,100 - 14,099 = 1\text{kHz}$

Ces deux signaux produisent un battement à 1KHz.

Mais ces battements sont déphasés différemment sur I et sur Q.

En ajoutant I à une version déphasée de 90° de Q, on obtient une réjection du signal à 14,099 donc

On garde la bande latérale supérieure.

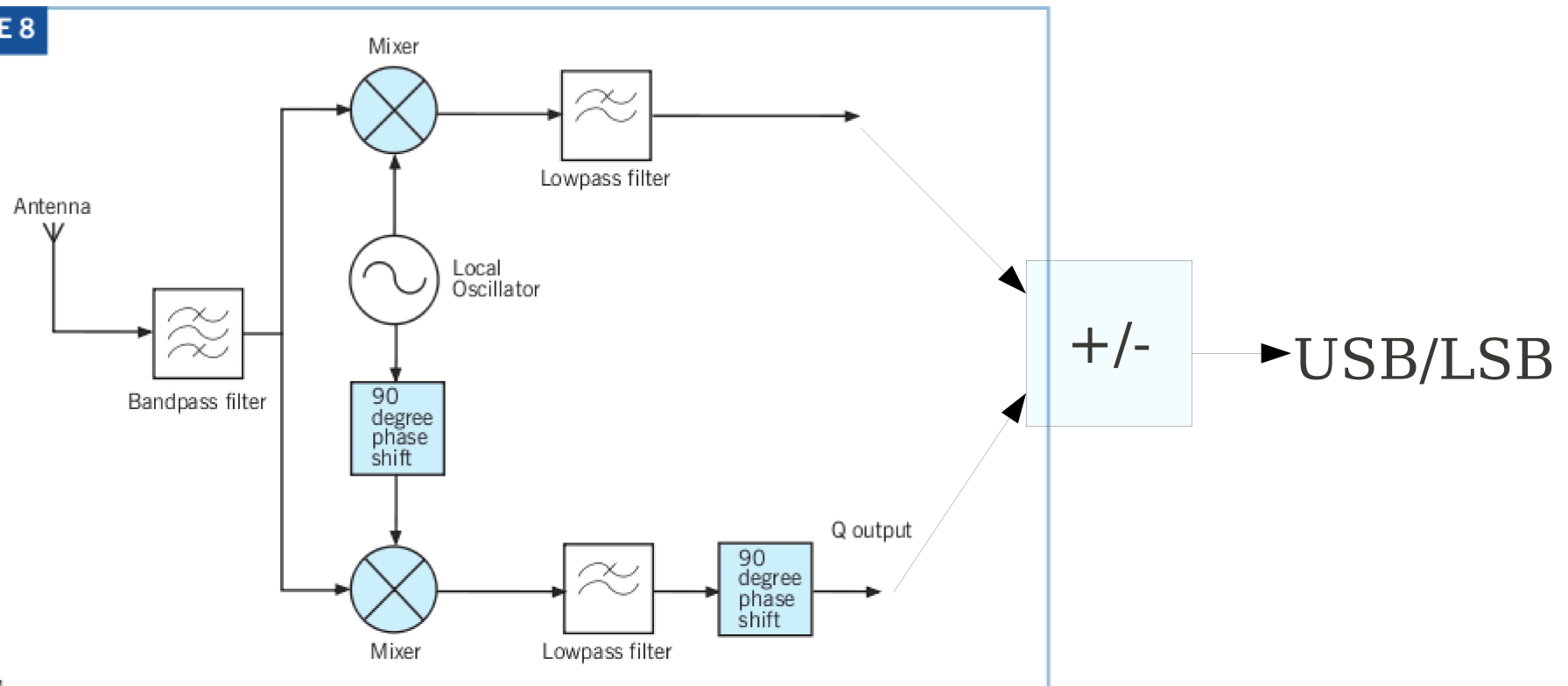
En retranchant I et $Q90^\circ$ on garde la bande inférieure.

Démodulation SSB/CW

Fu – Fol sur I apparaît en avance de 90° sur Q
Fol – Fl sur I apparaît en retard de 90° sur Q
En déphasant la voie Q de 90° on obtient un décalage de 180° d'un signal et de 0° pour l'autre.
En faisant la somme ou la différence, on peut éliminer une bande latérale et renforcer l'autre.

Démodulation SSB/CW

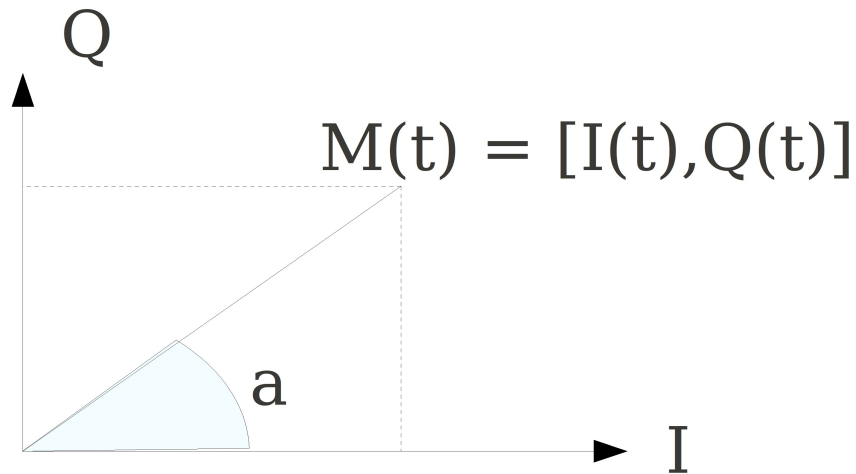
FIGURE 8



© RANDOM

Démodulation Phase/FM

La phase instantanée du signal reçu par rapport à l'OL est l'angle a :



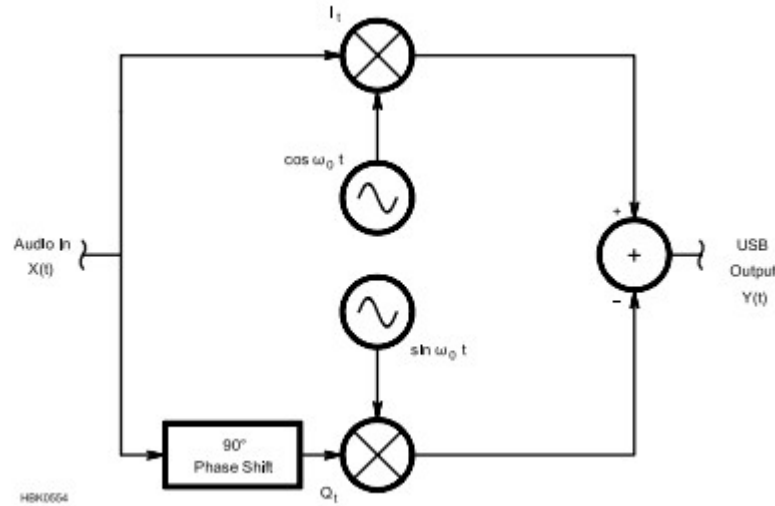
$$\tan(a) = I/Q$$

phase = $\arctan(I/Q)$

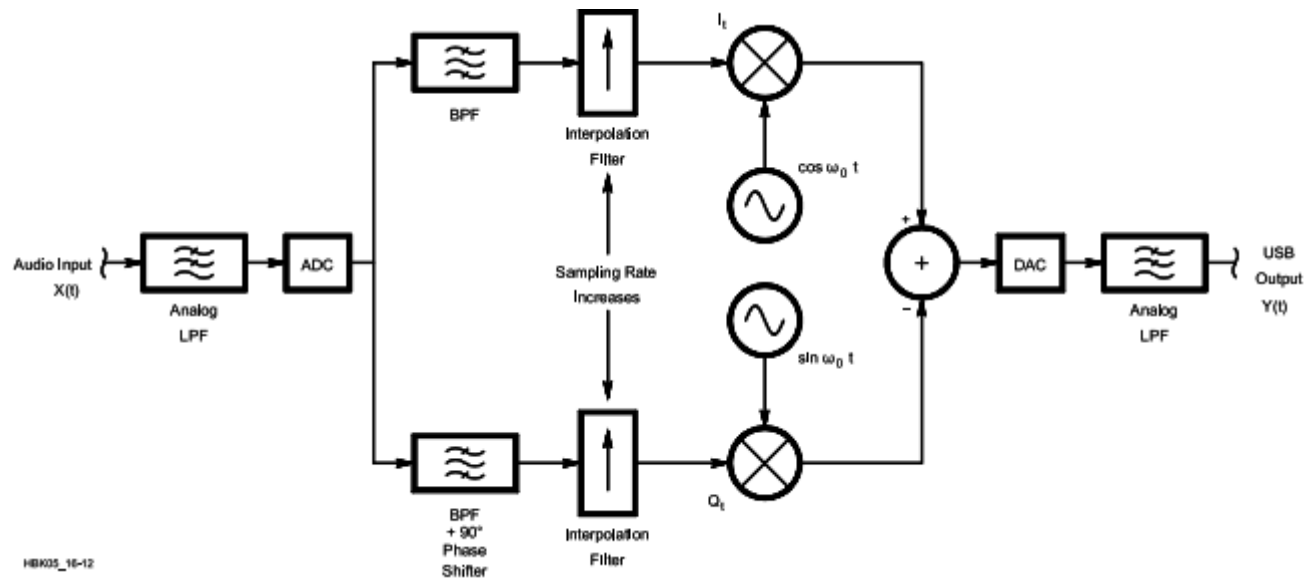
La fréquence est obtenue par : $(\text{ph}(n) - \text{ph}(n-1))/2\pi F_e$

Émission

On génère I et Q à partir d'un signal audio.



HBK0554



HBK05_16-12

Réalisations pratiques

SoftRock, SDR1000 , ZetaSDR, :

Conversion directe en bande de base.

Les signaux I et Q sont échantillonnés par une carte son.
Traitement du signal sur PC.

SDR cube , CheapDSP (OH2NLT) :

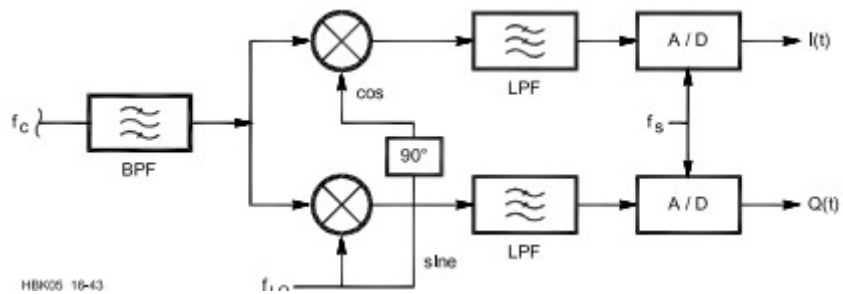
Base type softrock + numérisation par codec dédié et
Traitement du signal par microcontrôleur DSP

Ettus Gnuradio USRP, QS1R, Flex6000 :

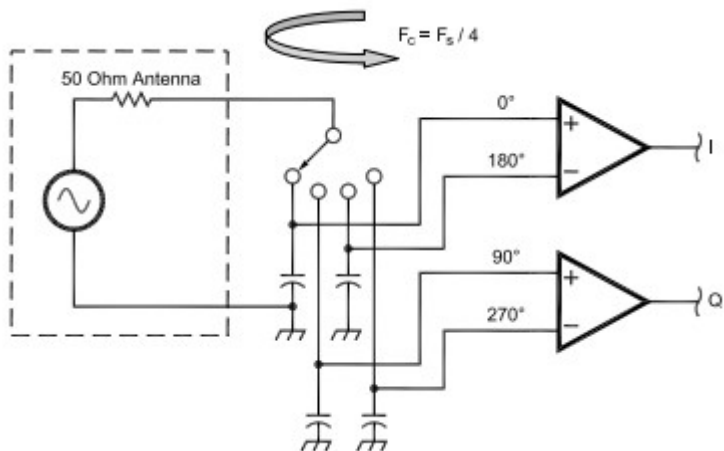
Conversion directe depuis la RF

Voir le site de F4DAN

Softrock / SDR1000



HBK05 16-43



SDR1000

