

La démodulation permet d'extraire le signal modulant transporté par la porteuse

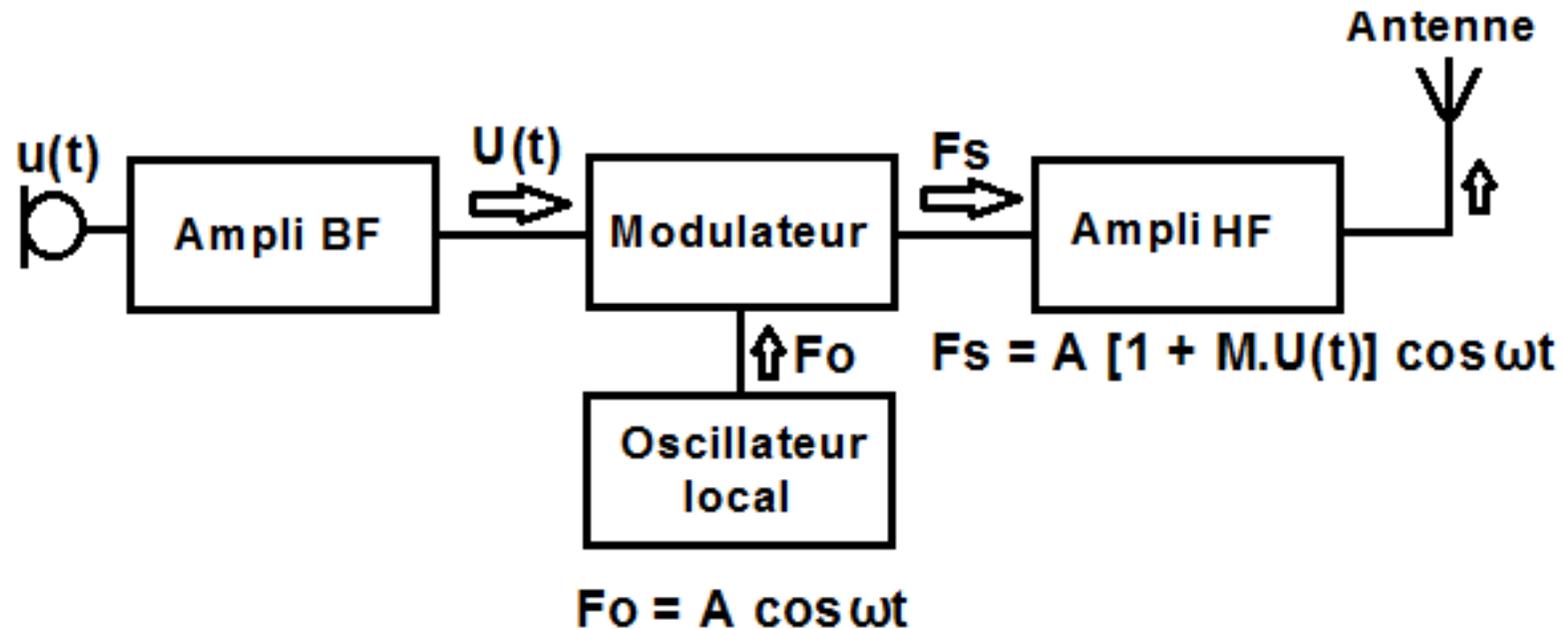
La démodulation AM

- Le détecteur d'enveloppe.**
- Le détecteur synchrone.**
- Le démodulateur BLU.**

La démodulation FM

- Le discriminateur.**
- La boucle à verrouillage de phase.**
- La détecteur à quadrature.**

Rappels sur la modulation AM

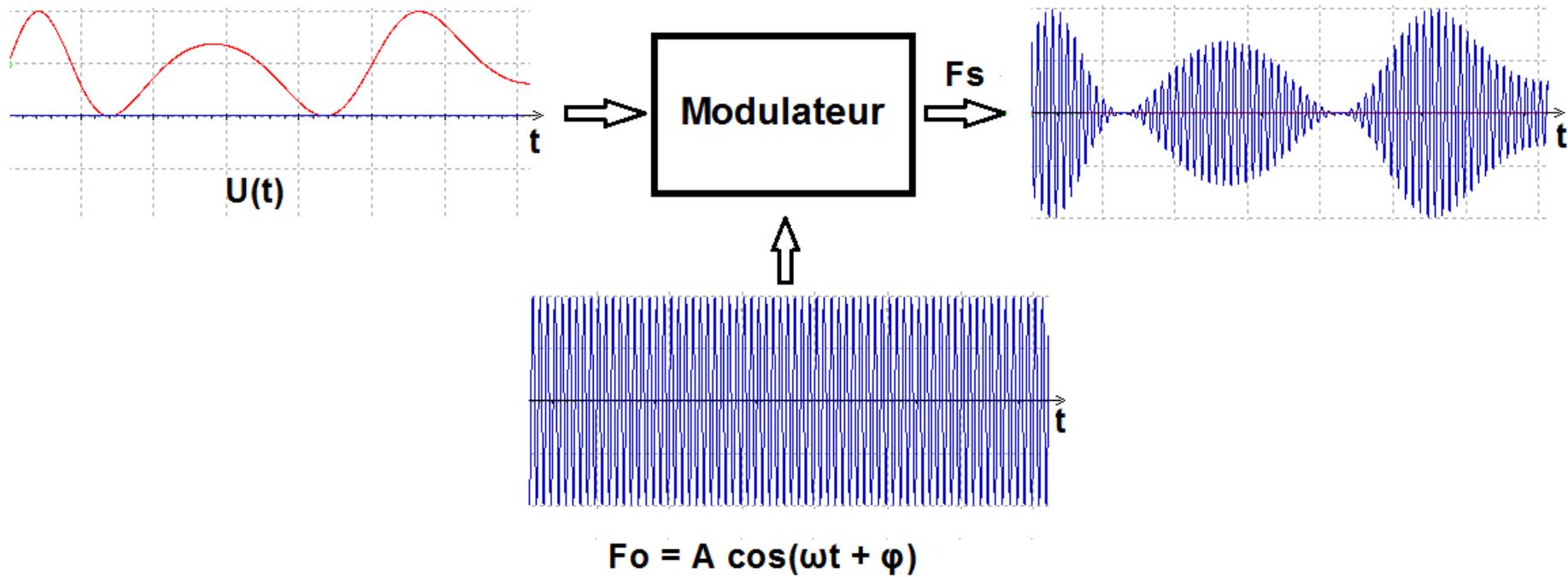


$U(t)$ est la fréquence modulante

F_0 est la fréquence porteuse

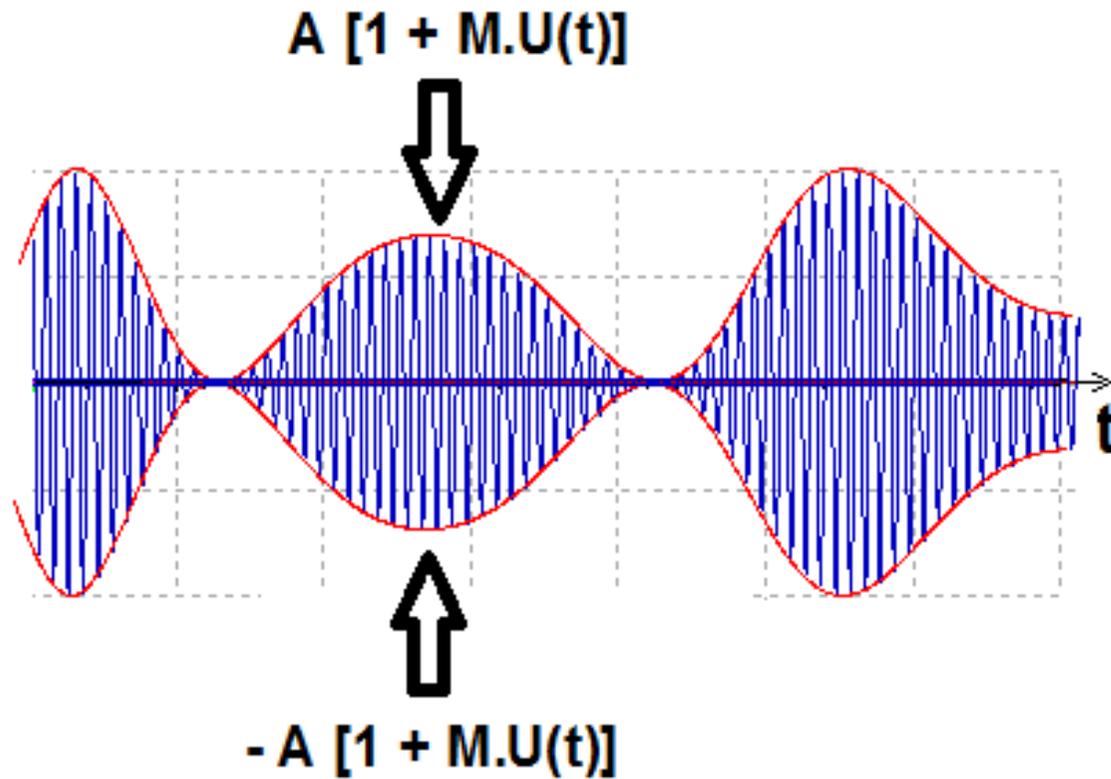
F_s est la fréquence modulée en amplitude

Le signal AM

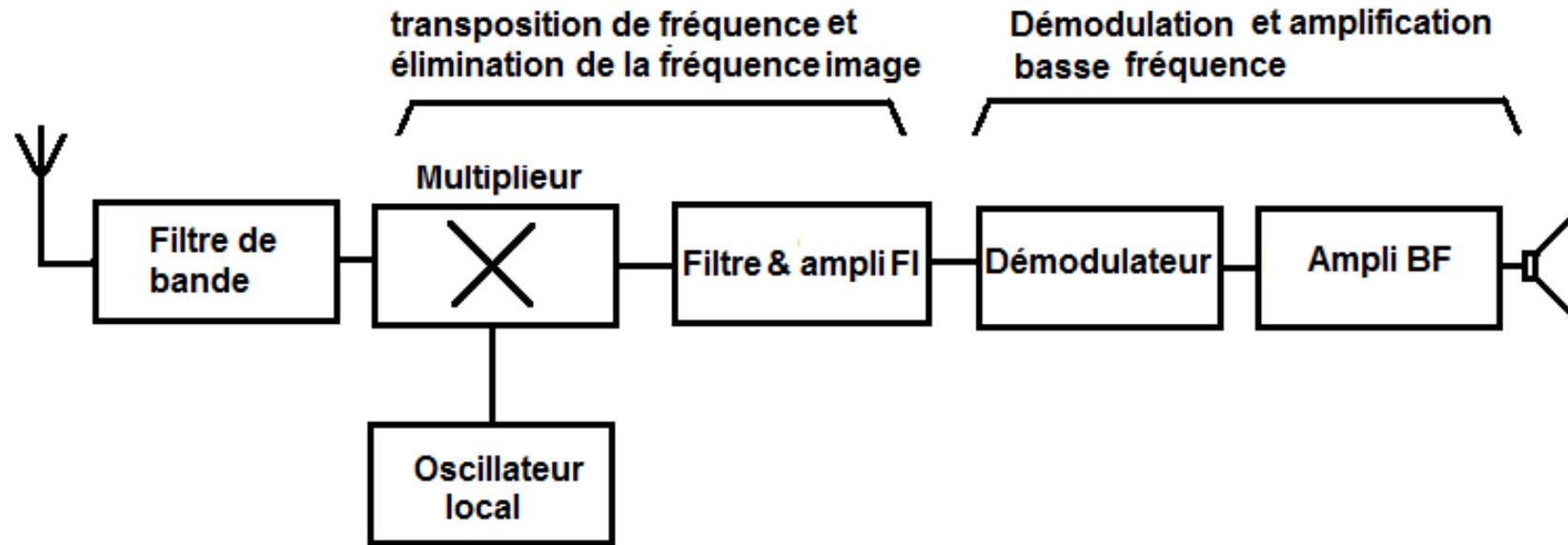


La démodulation AM

Elle permet de reconstituer l'enveloppe du signal modulant (courbe en rouge)



Le récepteur AM



Récepteur superhétérodyne comportant une seule transposition de fréquence. Le signal reçu est converti en un signal de fréquence intermédiaire (FI) plus basse.

$$F \text{ intermédiaire} = F \text{ reçue} - F \text{ oscillateur}$$

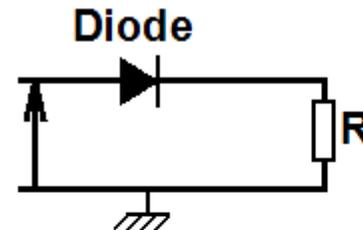
La détection d'enveloppe

On utilise un détecteur crête.

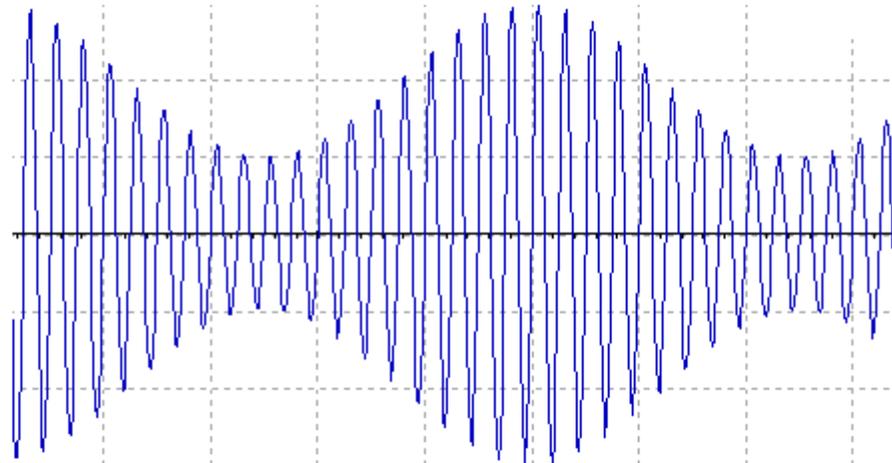
Etape1 : Redressement du signal de la porteuse FI

Montage
redresseur
à diode

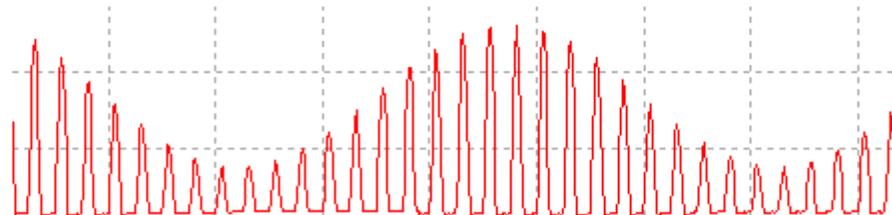
Porteuse modulée
en amplitude



Porteuse
modulée

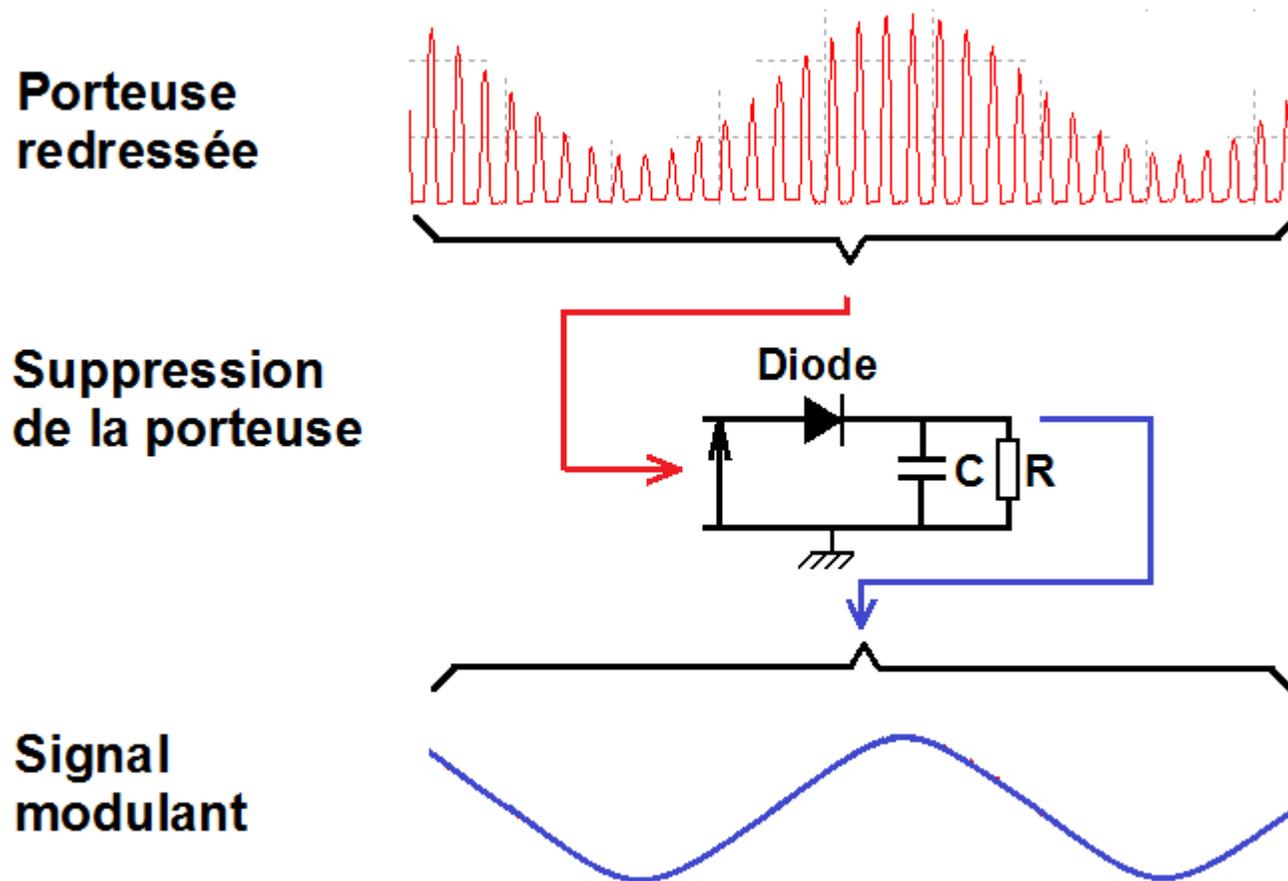


Porteuse après
redressement



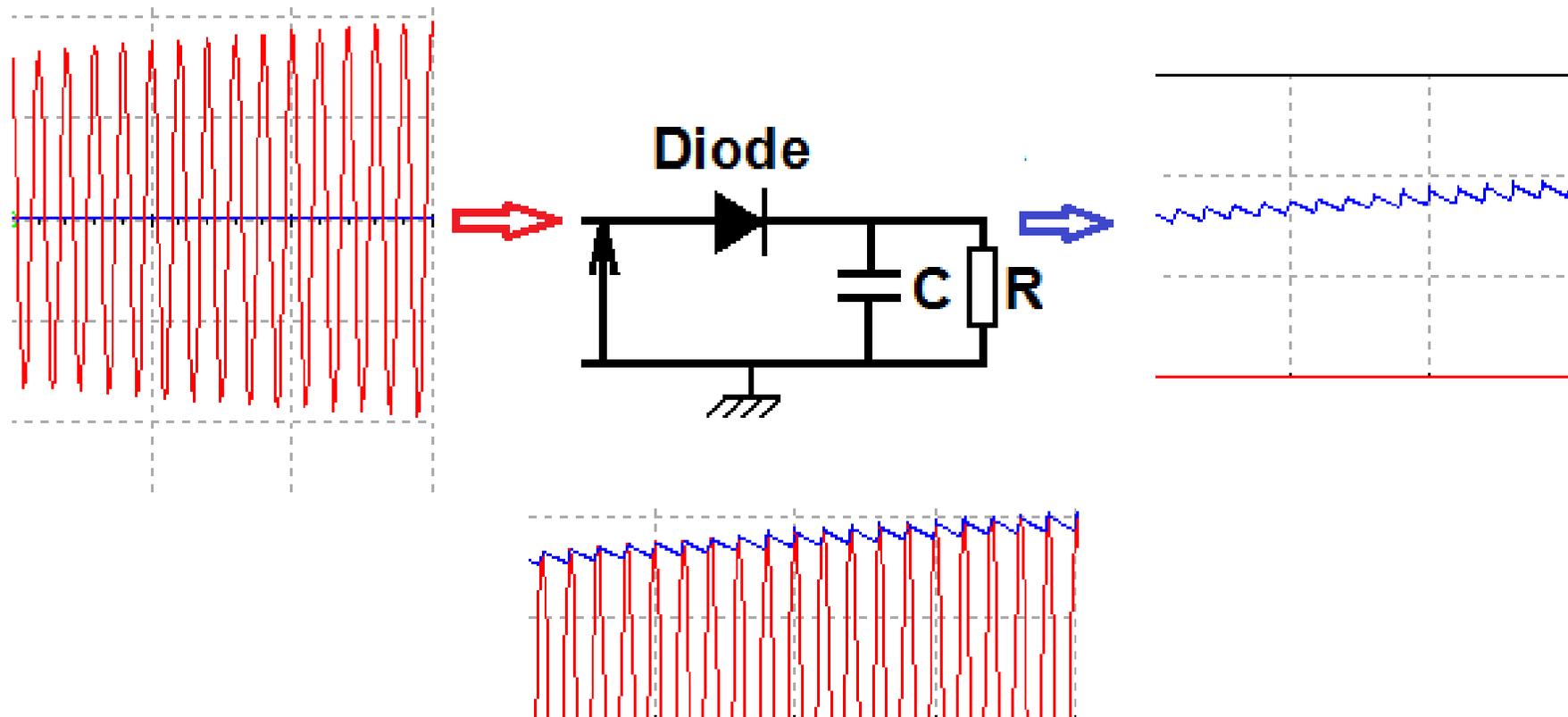
Démodulation par détection d'enveloppe

Etape 2 : Elimination de la porteuse FI.



Choix de R et C

Il faut choisir la constante de temps du filtre RC de façon à éliminer la porteuse sans déformer le signal modulant.



Exemple

On veut démoduler un signal AM de fréquence 1MHz porteur d'un signal modulant de 1kHz.

La période de la porteuse vaut $T_p = 1\mu s$

La période du signal modulant est $T_m = 1ms$

La constante de temps du circuit RC doit être grande par rapport à T_p pour éliminer la porteuse et faible par rapport à T_m pour ne pas déformer le signal modulant.

On pourra choisir une constante de temps de $50\mu s$.

Exercice

Calculez la valeur de C sachant que la résistance R vaut $5\text{k}\Omega$ et que l'on veut obtenir une constante de temps de $50\mu\text{s}$.

$$T = RC$$

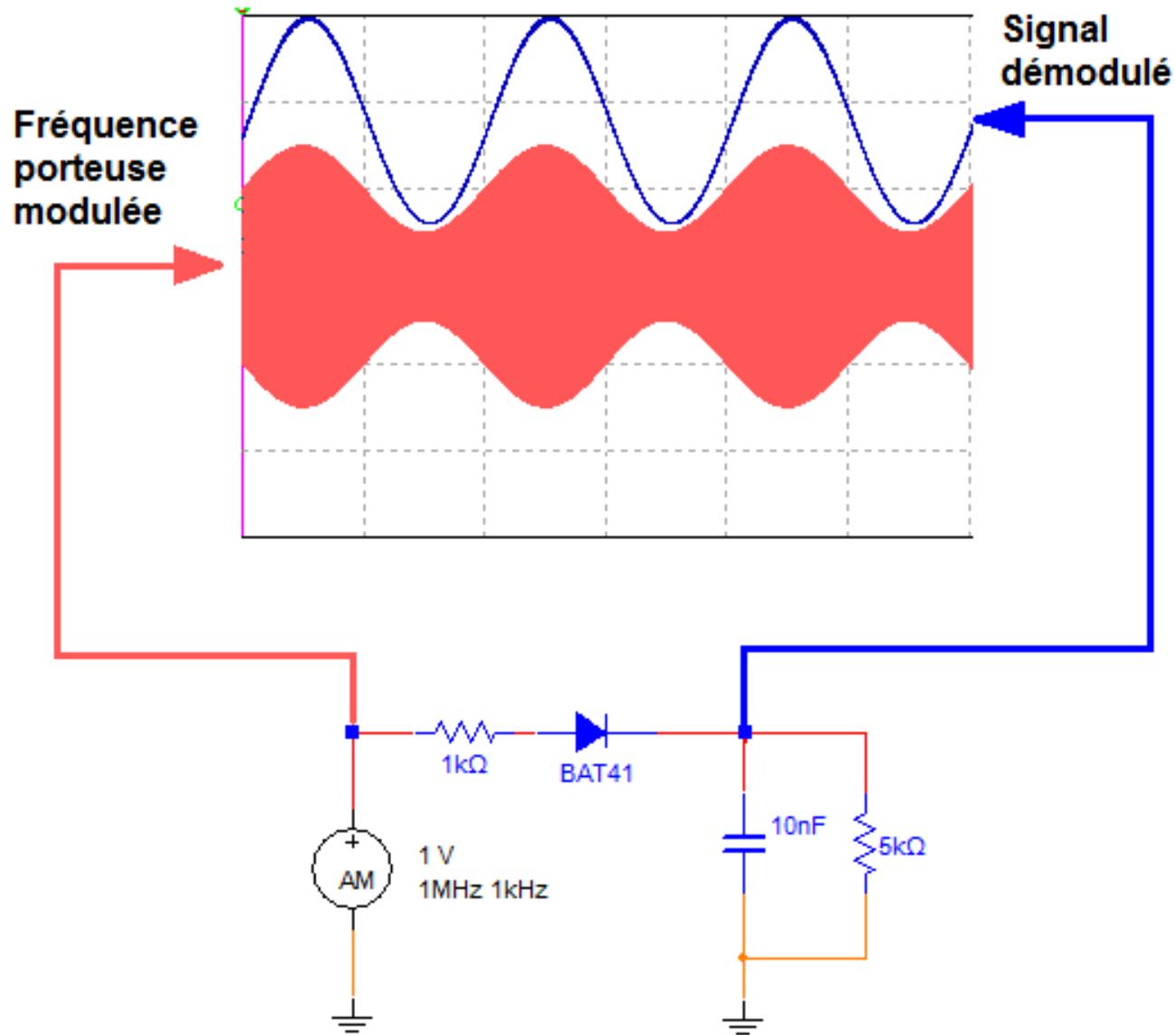
$$50 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^3 \times C$$

$$C = 50 \cdot 10^{-6} / 5 \cdot 10^3$$

$$C = 10 \cdot 10^{-9}$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

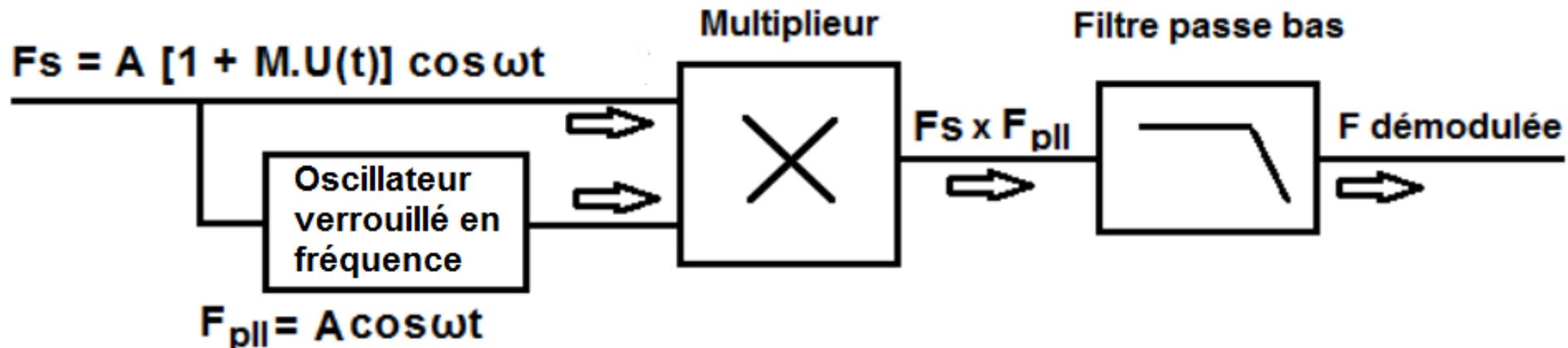
Simulation du montage



La démodulation AM cohérente

C'est une détection synchrone.

Le principe consiste à exécuter une transposition de fréquence qui fait réapparaître le signal modulant.



$$F_s \times F_{pll} = A^2 [1 + M.U(t)] \cos^2 \omega t$$

En sortie du multiplieur on a

$$F_s \times F_{pII} = A^2 [1 + M.U(t)] \cos^2 \omega t$$

On obtient

$$F_s \times F_{pII} = \frac{1}{2} A^2 [1 + \cos 2\omega t + M.U(t) + M.U(t) \cos 2\omega t]$$

Les termes en $\cos 2\omega t$ comportent une fréquence double de celle de la porteuse.

On les élimine facilement en faisant passer le signal dans un filtre passe bas RC.

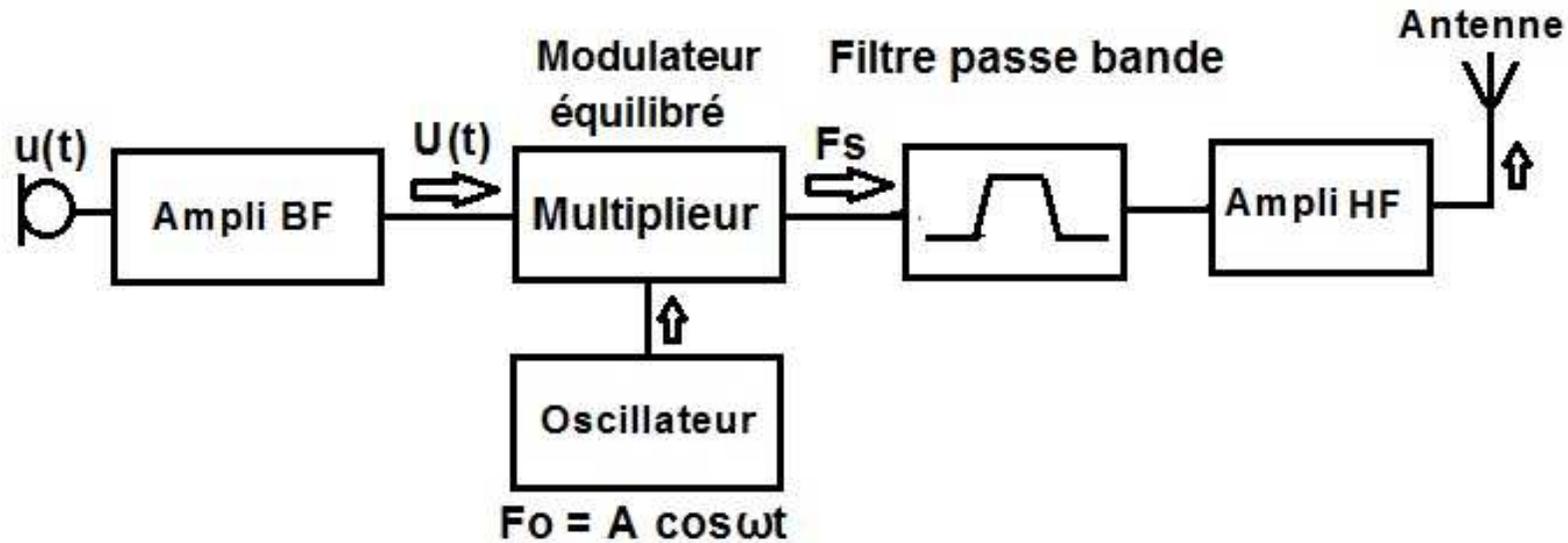
Après passage dans le filtre on obtient

$$F_s \times F_{pII} = \frac{1}{2} A^2 [1 + M.U(t)]$$

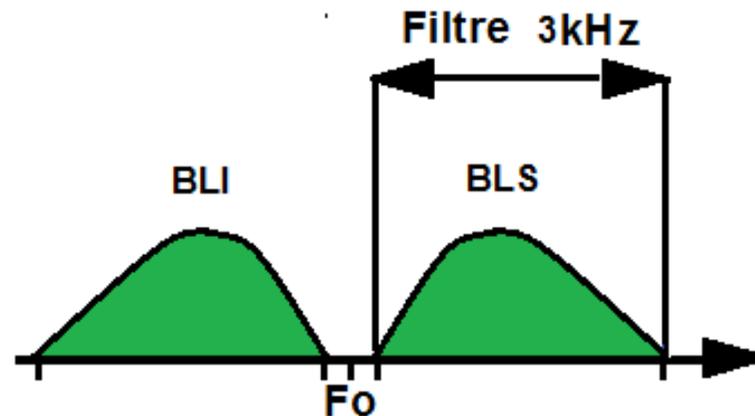
A une constante près on retrouve le signal modulant qui sera amplifié et restitué par le haut parleur.

La BLU rappels

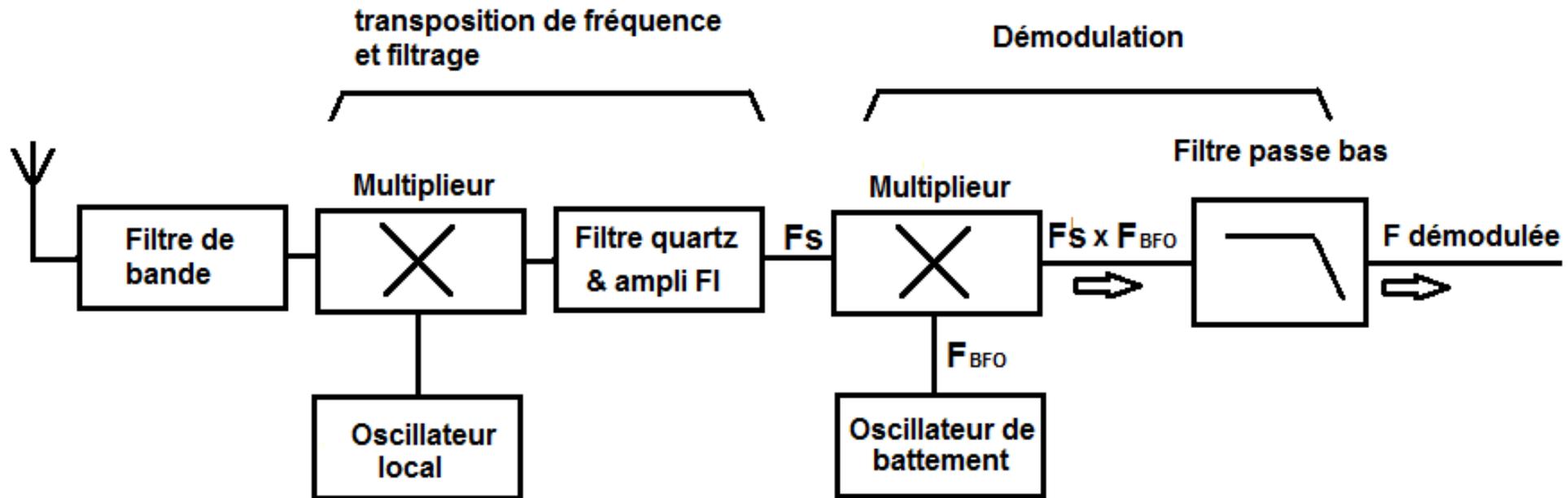
L'émetteur



La porteuse modulée est $F_s = A \cos \omega t \times U(t)$



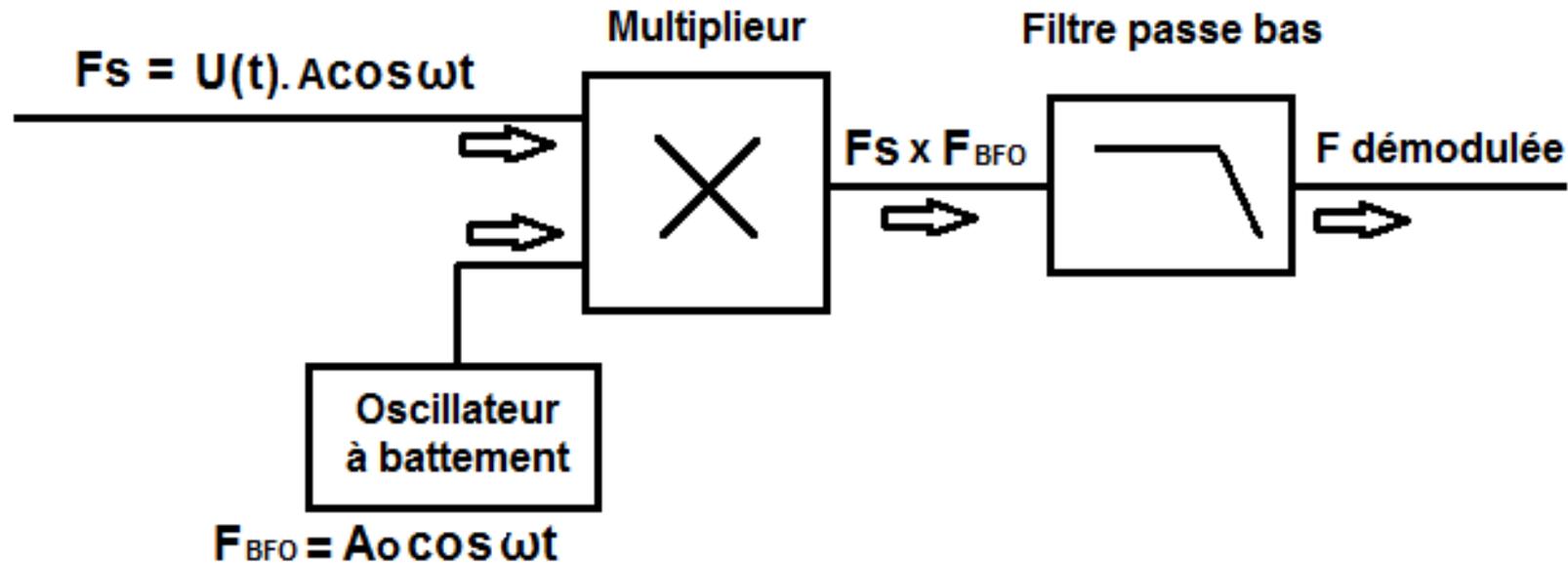
Le récepteur BLU



Le filtrage de l'étage « fréquence intermédiaire » utilise un filtre à bande étroite (filtre à quartz).

La fréquence de l'oscillateur local nécessite un réglage précis pour que la fréquence modulée passe dans la « fenêtre » du filtre à quartz.

Principe de la démodulation BLU



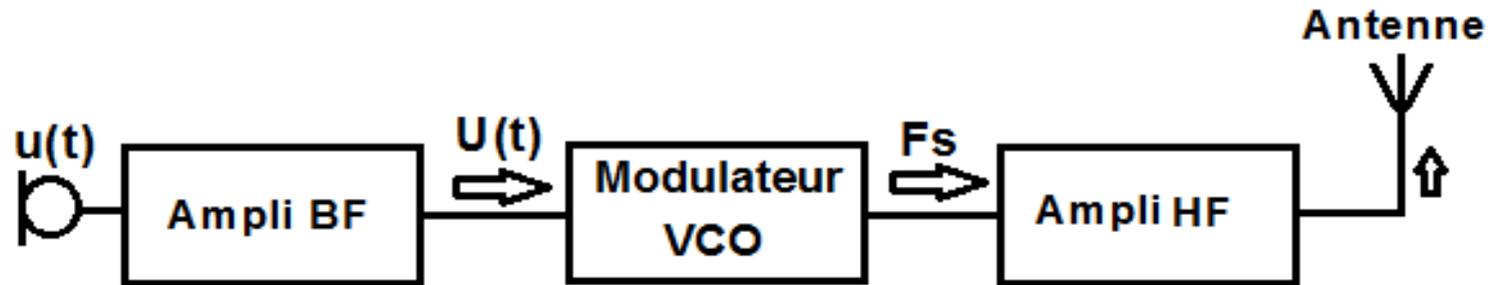
$$F_s \times F_{BFO} = A_o. A \cos^2 \omega t \times U(t) \text{ d'où}$$

$$F_s \times F_{BFO} = \frac{1}{2} A_o. A U(t) + \frac{1}{2} A_o. A U(t) \cos 2\omega t$$

Après passage dans le filtre passe bas il reste

$$F \text{ démodulée} = \frac{1}{2} A_o. A U(t)$$

La modulation de fréquence rappels



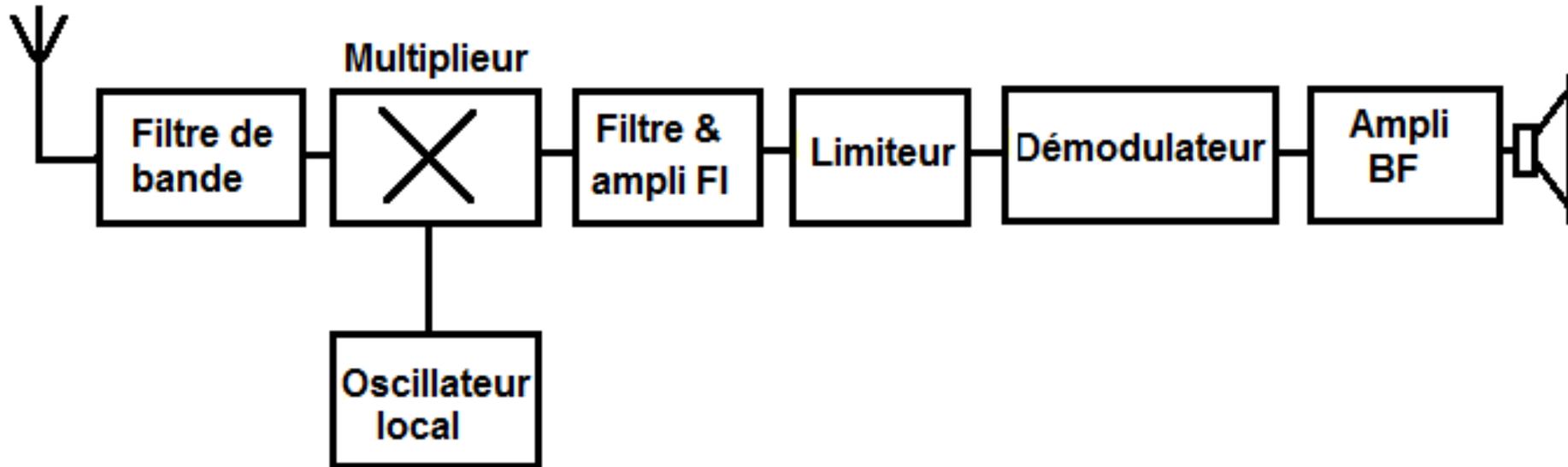
La fréquence instantanée est $F_s = F_0(t) + k U(t)$

F_0 est la fréquence de l'oscillateur sans modulation.

$U(t)$ est le signal modulant (en volts)

Le coefficient k (en Hz/V) dépend du modulateur

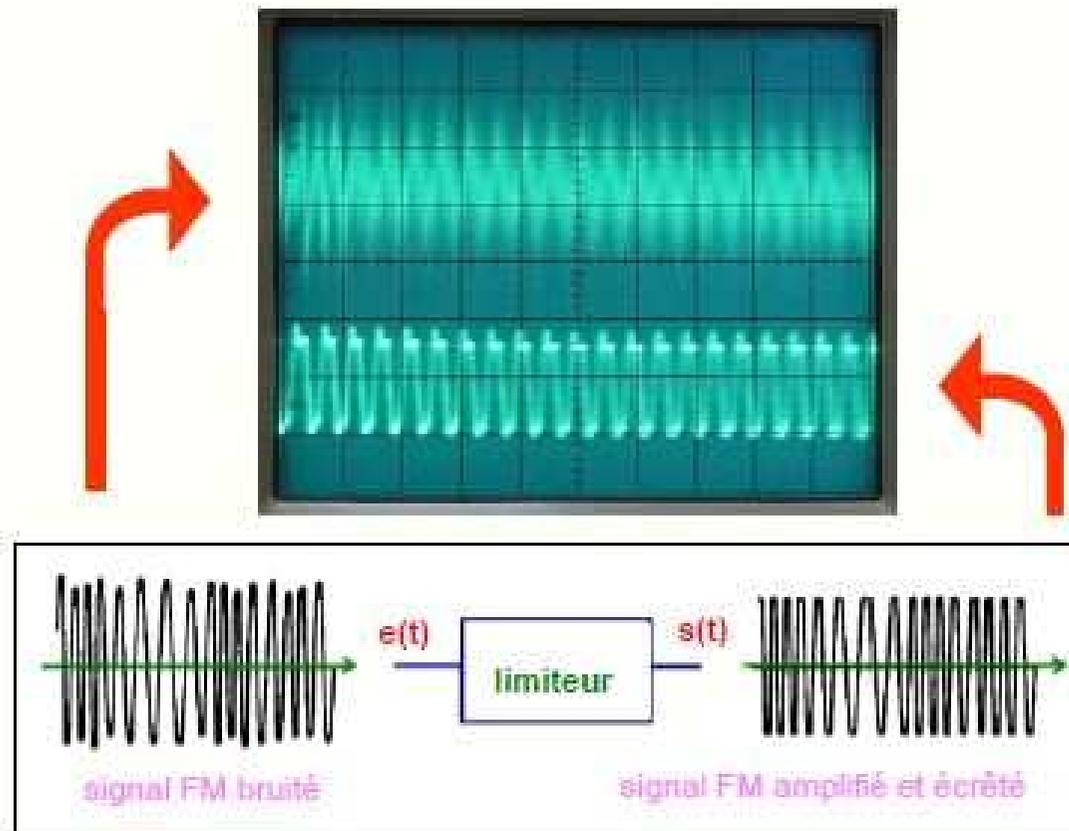
Le récepteur FM



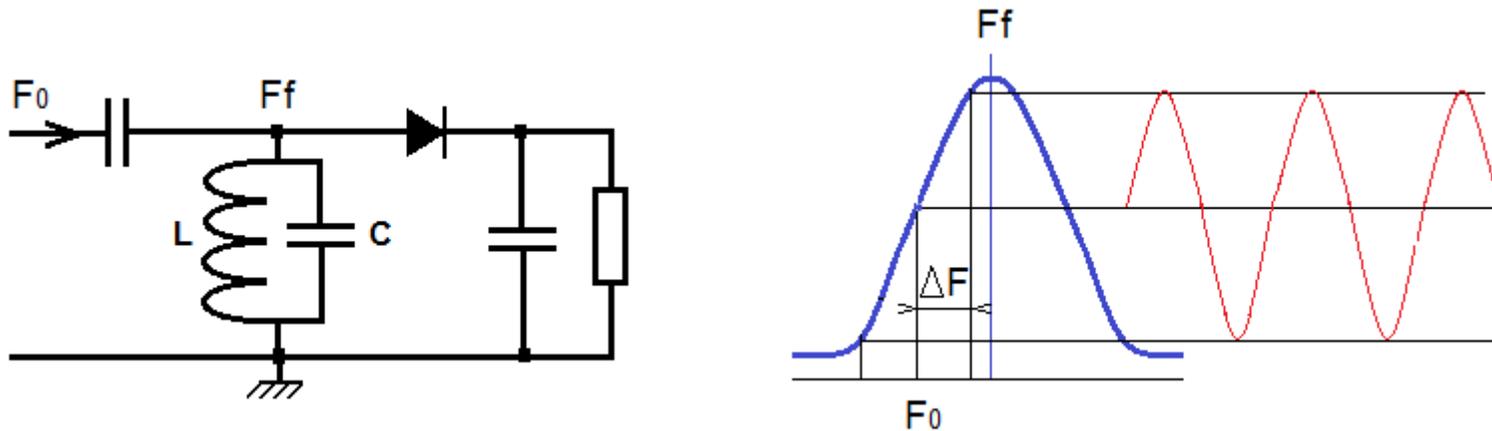
Par rapport au récepteur AM on a un étage limiteur supplémentaire.

Cet étage écrête fortement le signal FM pour éliminer le bruit et ramener l'amplitude de la porteuse à une valeur constante.

Action du limiteur sur un signal FM bruité



Démodulation sur le flanc d'un filtre

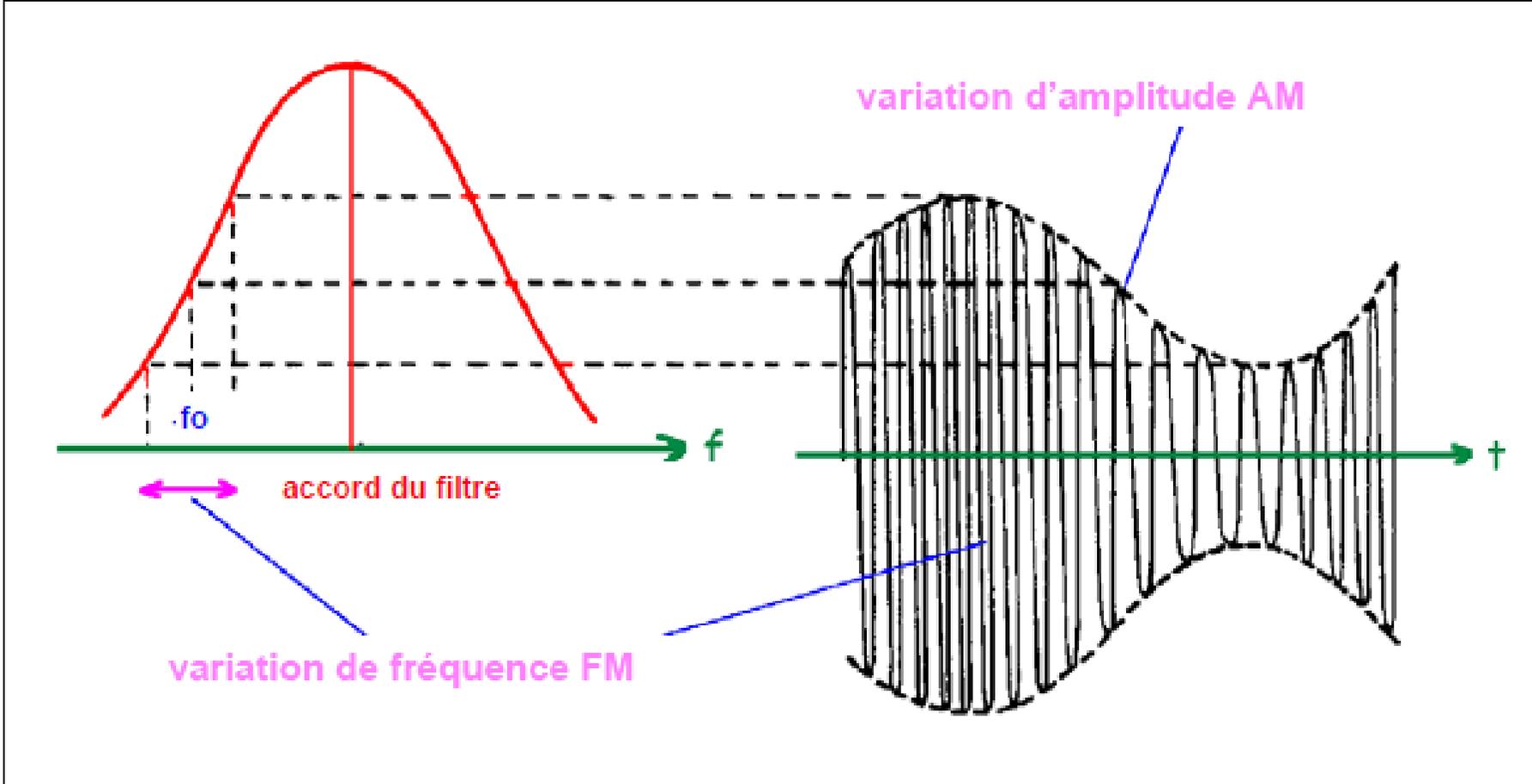


La fréquence centrale du signal F_0 est reçue sur le flanc du filtre accordé sur F_f .

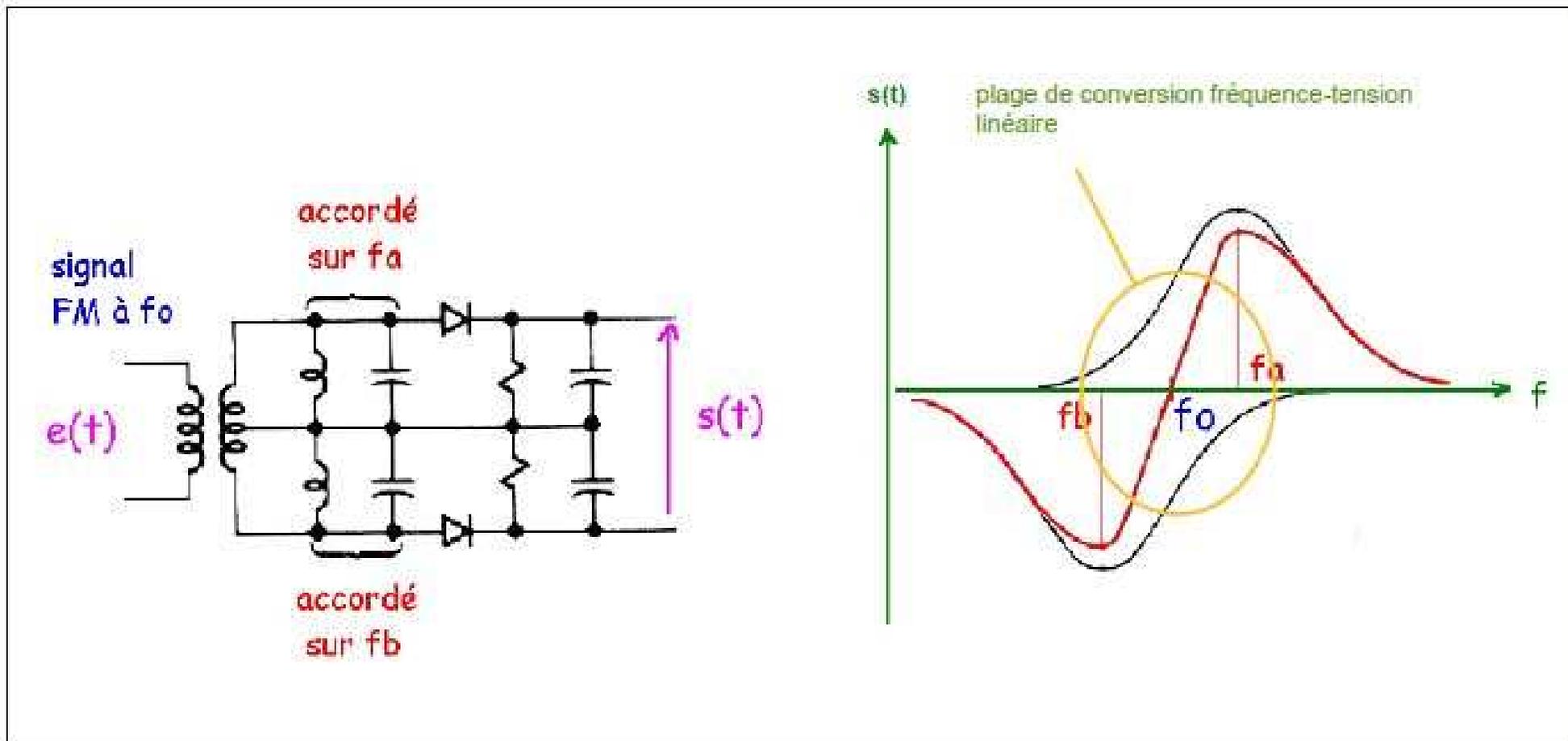
Les variations de la fréquence sur le flanc du filtre produisent des variations d'amplitudes.

En sortie du filtre l'amplitude varie en fonction de la variation de la fréquence F_0 .

On démodule ces variations d'amplitudes avec un détecteur crête AM pour retrouver le signal modulant



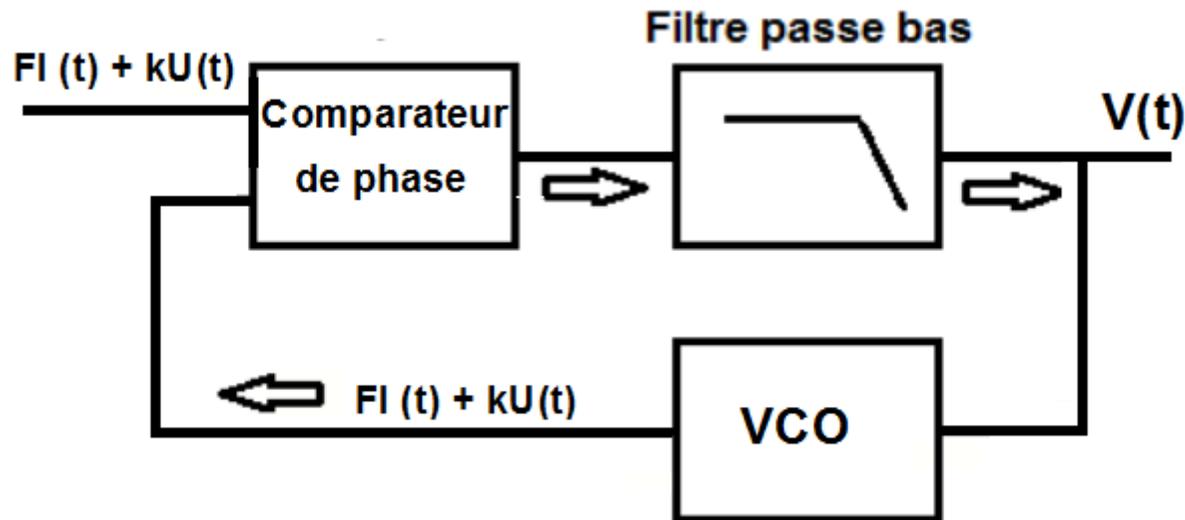
Le discriminateur de Foster-Seeley



**Il utilise deux filtres à accord décalé autour de la fréquence centrale du signal FM.
La partie utilisée pour la conversion FM /AM est plus linéaire celle du filtre précédent.**

Le démodulateur à PLL

PLL = Phase Locked Loop

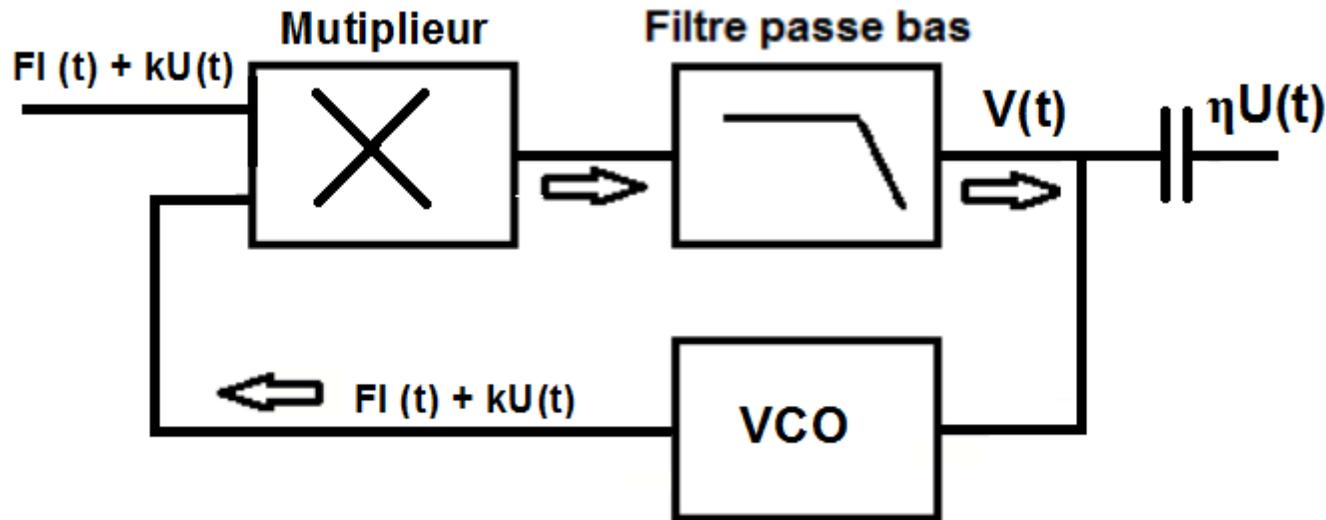


Lorsque la boucle est verrouillée le détecteur de phase produit une tension d'amplitude proportionnelle à l'écart des fréquences entre le signal d'entrée et le signal du VCO.

Cette tension impose au VCO de suivre la fréquence d'entrée.

On montre que si la fréquence d'entrée varie suivant $kU(t)$ $V(t)$ comportera une composante continue et une composante variable proportionnelle à $kU(t)$.

Cas ou les signaux sont sinusoïdaux

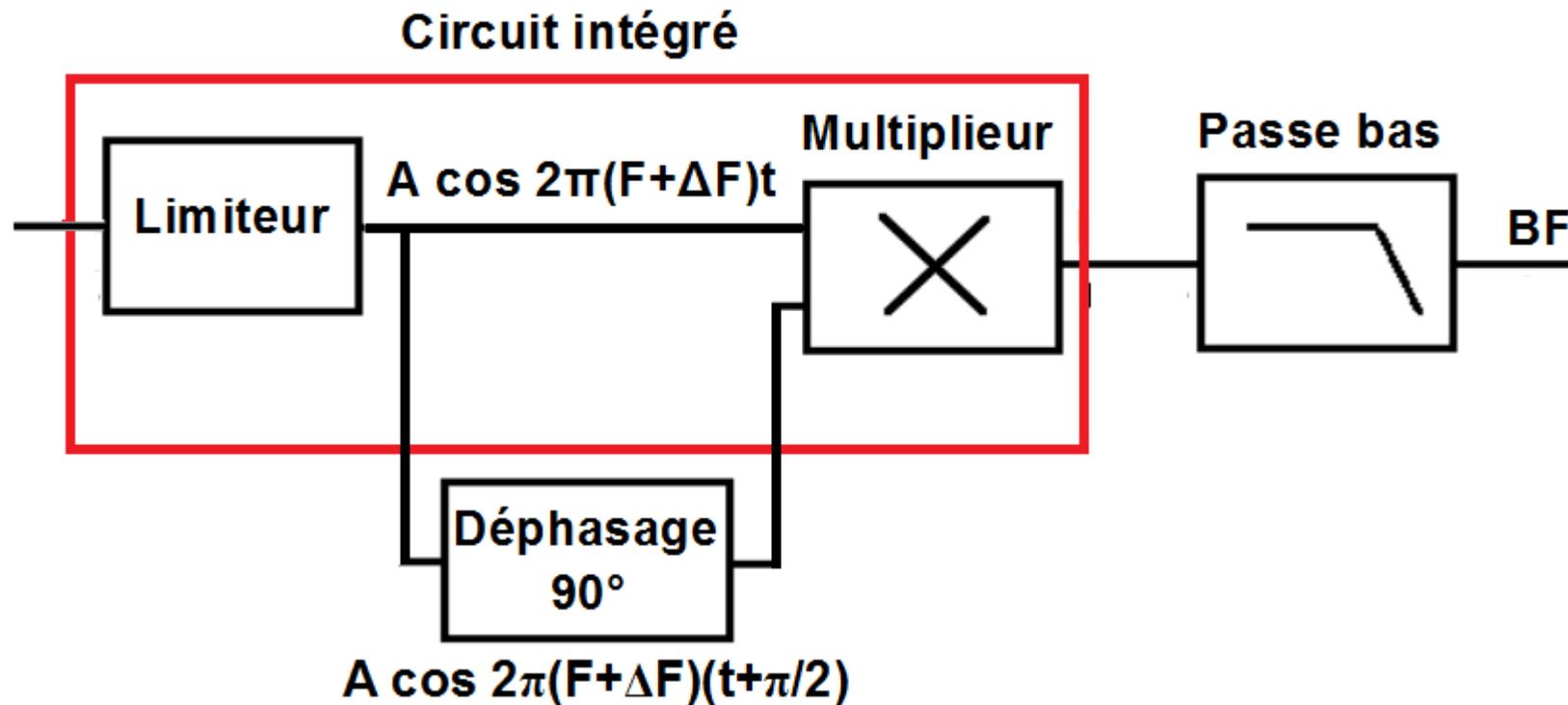


On utilise un multiplicateur comme comparateur de phase.

Un condensateur en série après le filtre passe bas élimine la composante continue de $V(t)$ et on obtient en sortie un signal $\eta U(t)$ proportionnel au signal modulant.

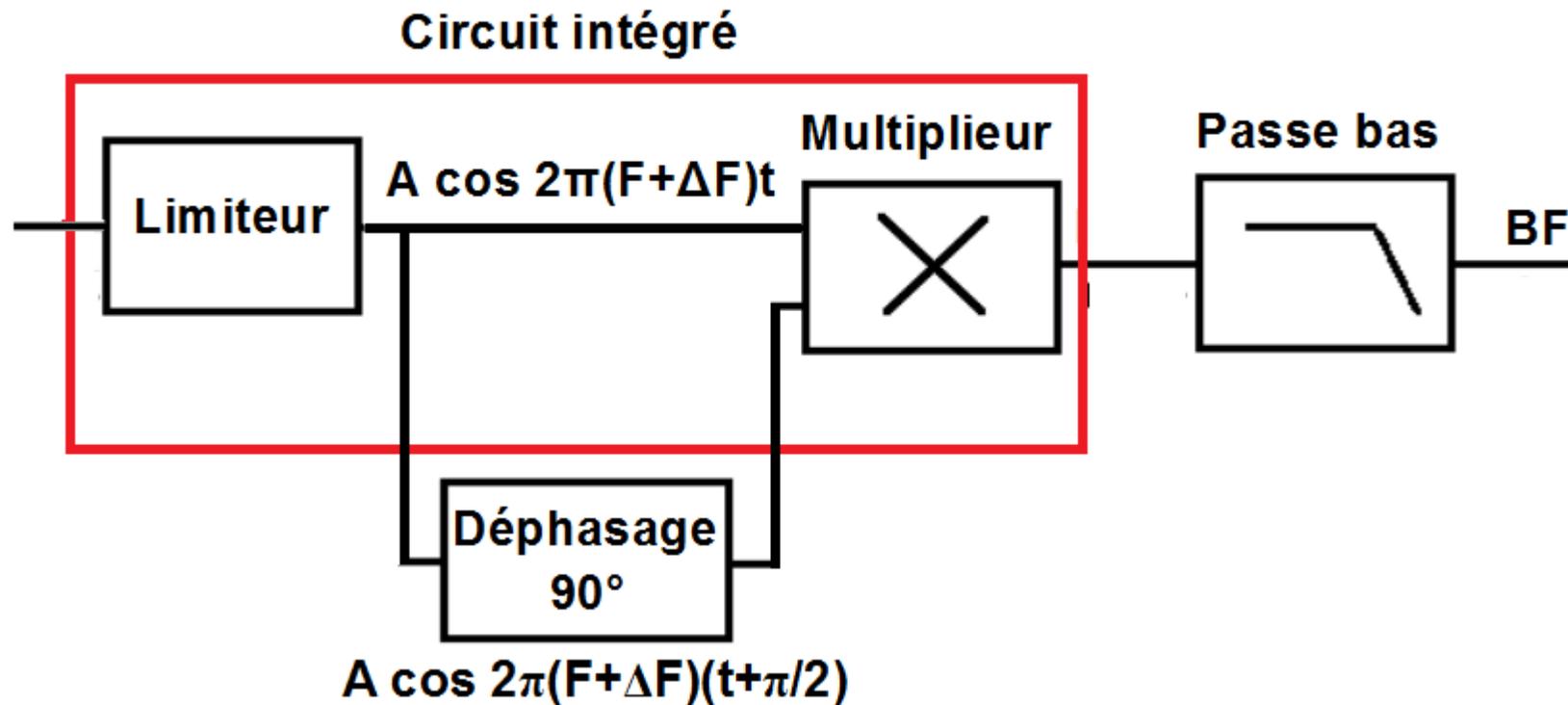
Le démodulateur à quadrature

C'est le démodulateur utilisé dans les circuits intégrés des postes radio FM.



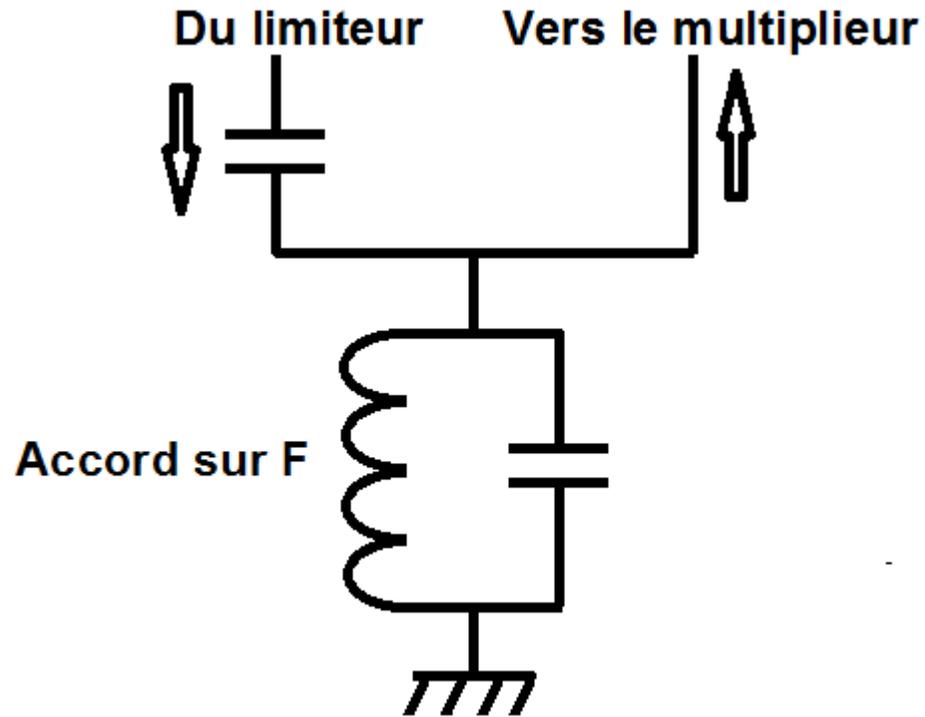
Le démodulateur à quadrature

C'est le démodulateur utilisé dans les circuits intégrés des postes radio FM.



Le déphaseur à 90°

Il consiste en un circuit accordé sur la fréquence F .



On retrouve en sortie du multiplieur deux signaux :

- le premier contient un terme en $\cos 2F$ qu'on élimine dans le filtre passe bas RC.**
- le second terme contient le sinus de $\alpha kU(t)$ avec α dépendant de la courbe de réponse du filtre.**

En général $\alpha kU(t)$ est petit et on peut assimiler le sinus à $\alpha kU(t)$ le signal modulant.

Exemple du circuit intégré NE604 avec démodulateur à quadrature

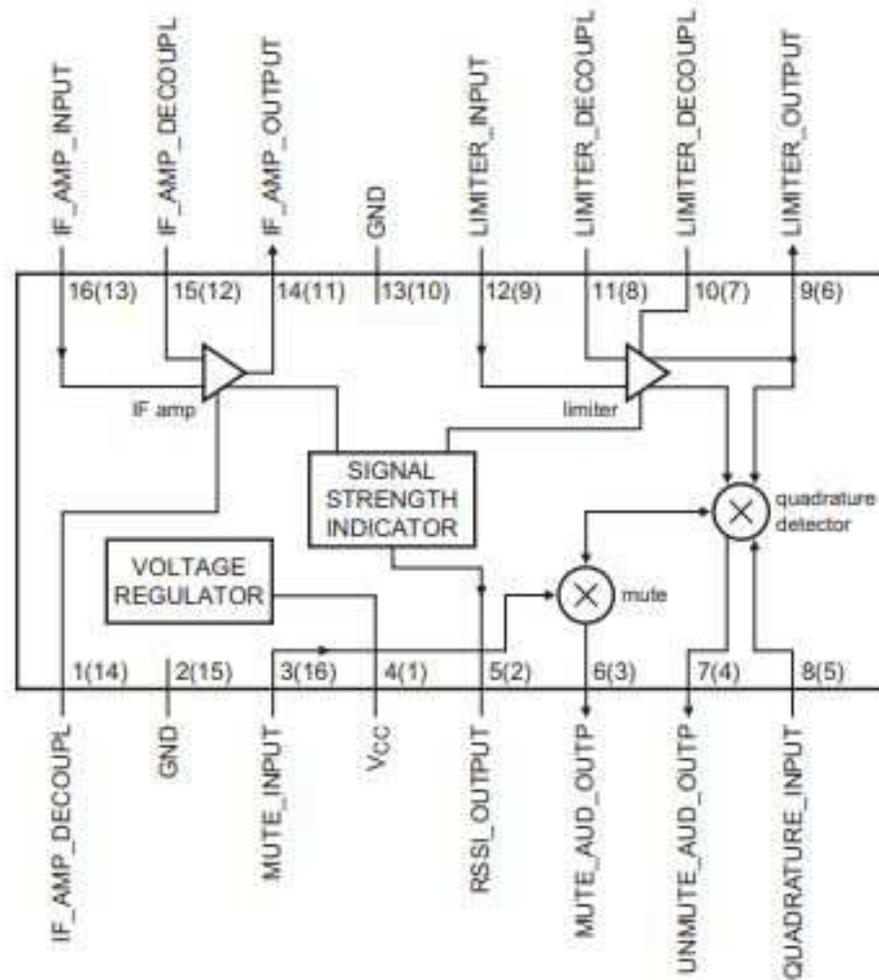


Schéma d'un récepteur FM avec SA604A

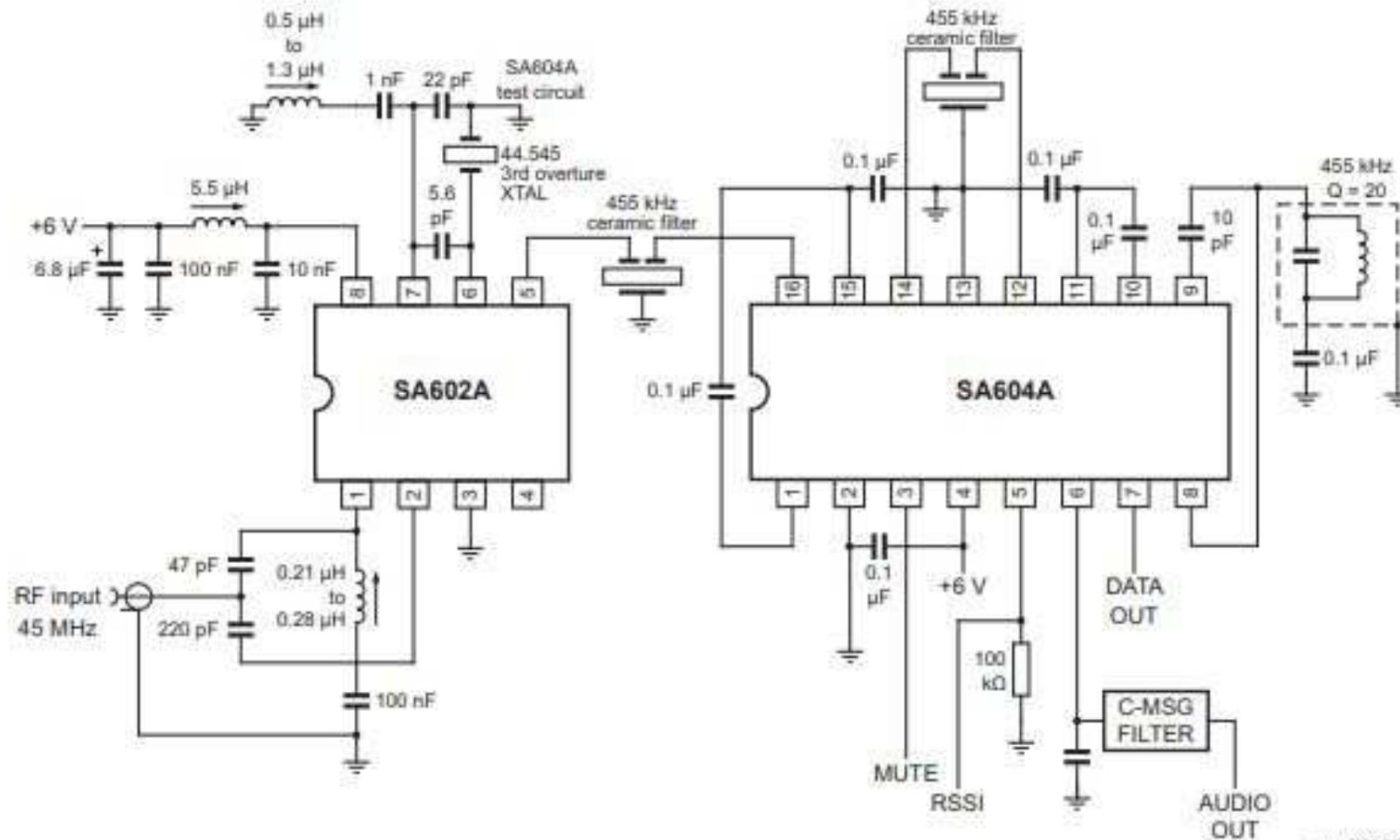


Fig 6. Typical application cellular radio (45 MHz RF input and 455 kHz IF)