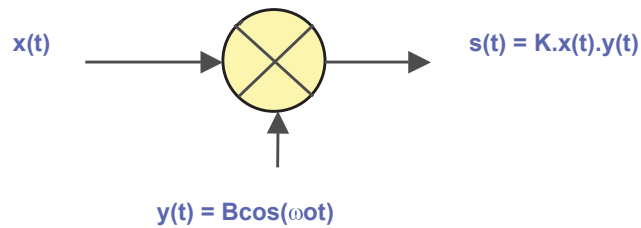


1- Mélange de deux signaux sinusoïdaux :

Le mélangeur est un dispositif à deux entrées et une sortie qui multiplie le signal $x(t)$ à traiter par un signal sinusoïdal $y(t)$:

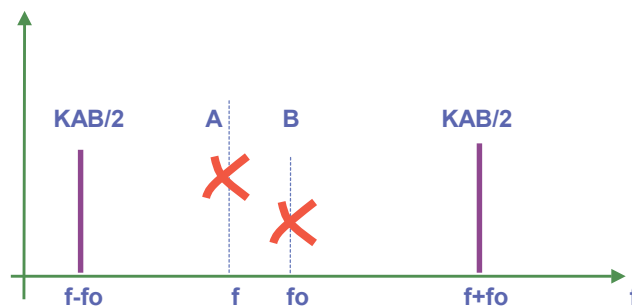


Dans le cas simple où $x(t)$ est sinusoïdal $x(t) = A\cos(\omega t)$ le signal en sortie du mélangeur s'écrit :

$$s(t) = K.x(t).y(t) = K.A\cos(\omega t).B\cos(\omega_0 t) = \frac{KAB}{2}.\cos(\omega + \omega_0)t + \frac{KAB}{2}.\cos(\omega - \omega_0)t$$

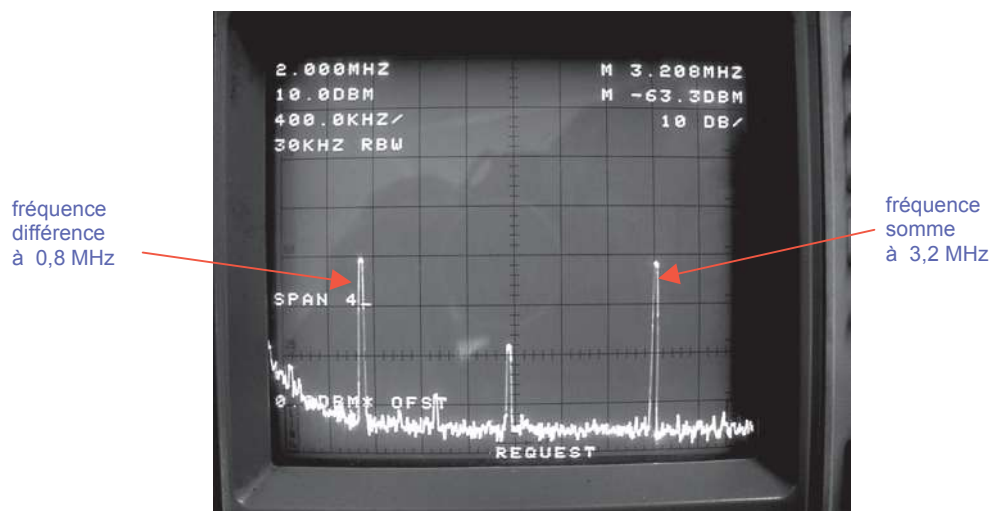
Dans le spectre du signal de sortie $s(t)$, on constate que :

- les fréquences f et f_0 ont disparu
- deux nouvelles fréquences sont apparues : $f+f_0$ et $f-f_0$



On dit qu'en sortie du mélangeur on a les « fréquence somme » et « fréquence différence ».

Exemple : mélange de deux signaux sinusoïdaux à 1,2 MHz et 2 MHz



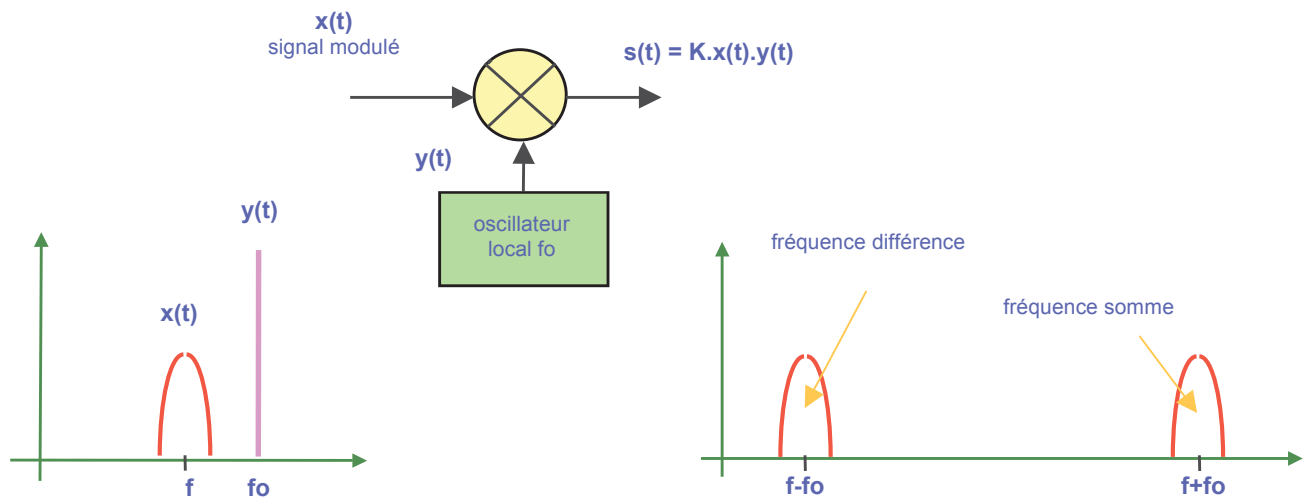
Remarque : il reste dans le spectre de $s(t)$ une petite composante à 2 MHz qui traduit une imperfection du mélangeur.

2- Mélange d'une porteuse modulée avec une sinusoïde :

Dans le cas général, $x(t)$ est une porteuse modulée $x(t) = A \cos(\omega t)$ avec A ou ω variables :

- si A varie avec l'information (parole, musique, informations binaires), il s'agit de AM
- si ω varie avec l'information (parole, musique, informations binaires), il s'agit de FM

Le spectre de $x(t)$ est alors plus large qu'une simple raie, mais en sortie du mélangeur, on retrouve comme précédemment le spectre du signal $x(t)$ centré sur les fréquences $f-f_0$ et $f+f_0$:



Le signal en sortie du mélangeur s'écrit toujours :

$$s(t) = K.x(t).y(t) = K.A \cos(\omega t) . B \cos(\omega_0 t) = \frac{KAB}{2} \cos(\omega + \omega_0)t + \frac{KAB}{2} \cos(\omega - \omega_0)t$$

La modulation du signal $x(t)$ est conservée puisque :

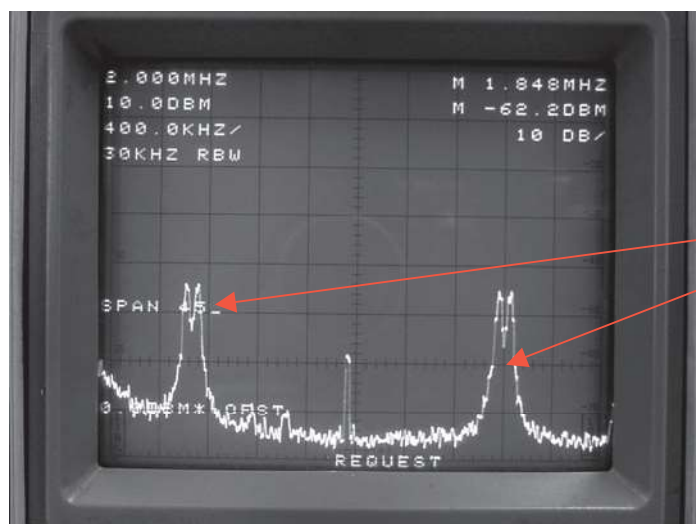
- si $x(t)$ est modulé en AM, l'amplitude variable A se retrouve sur les deux composantes

$$s(t) = K.x(t).y(t) = K.A \cos(\omega t) . B \cos(\omega_0 t) = \frac{KAB}{2} \cos(\omega + \omega_0)t + \frac{KAB}{2} \cos(\omega - \omega_0)t$$

- si $x(t)$ est modulé en FM, la pulsation variable ω se retrouve dans les deux composantes

$$s(t) = K.x(t).y(t) = K.A \cos(\omega t) . B \cos(\omega_0 t) = \frac{KAB}{2} \cos(\omega + \omega_0)t + \frac{KAB}{2} \cos(\omega - \omega_0)t$$

Exemple :

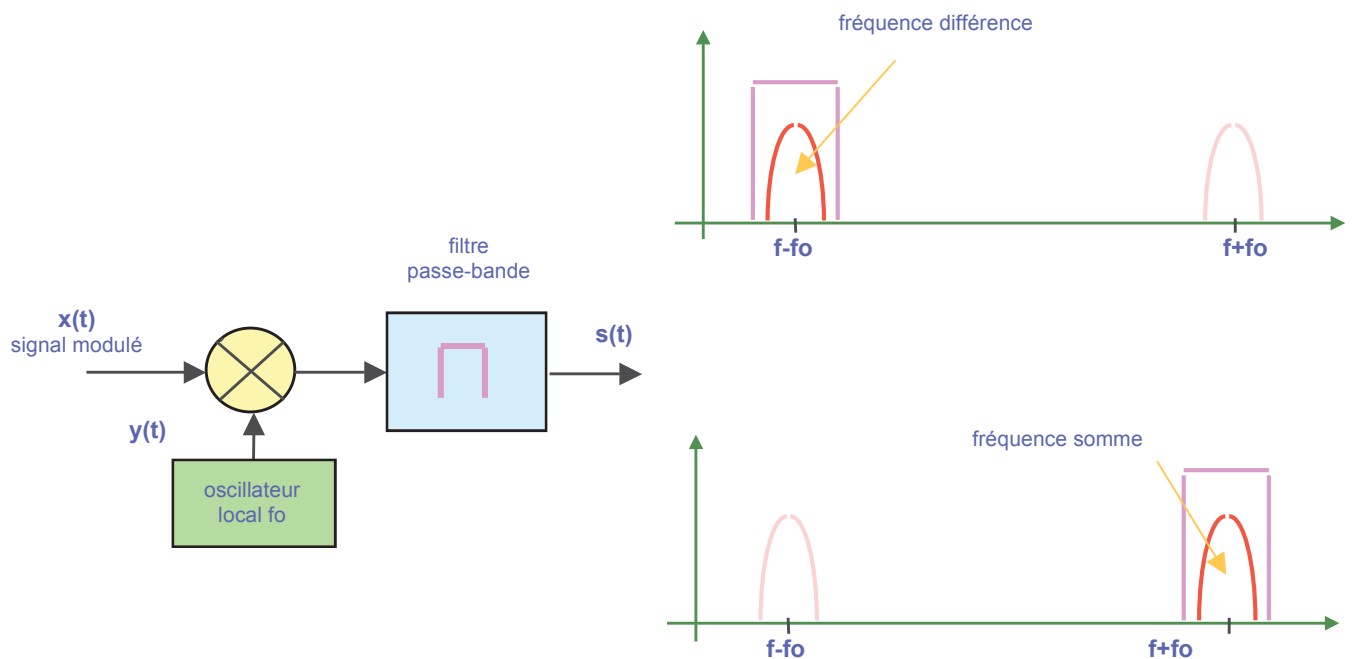


Signaux à la fréquence
« somme » et « différence »
modulés en FM

3- La fonction « changement de fréquence » :

Si on place un filtre passe-bande en sortie de l'ensemble mélangeur-oscillateur local, on peut :

- conserver la fréquence somme et d'éliminer la fréquence différence
- conserver la fréquence différence et d'éliminer la fréquence somme

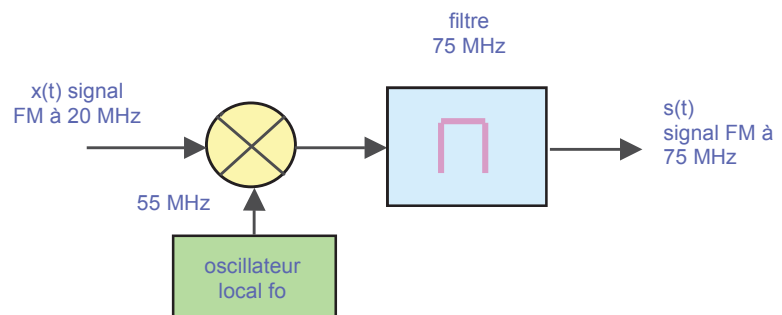


Un ensemble mélangeur+oscillateur local+filtre permet donc de changer la fréquence d'un signal modulé :

- le spectre du signal modulé $x(t)$ est simplement translaté sur l'axe des fréquences
- l'amplitude du déplacement est égale à la valeur de la fréquence de l'oscillateur local f_0

Exemples :

Pour faire passer un signal FM de 20 MHz à 75 MHz, on le multiplie par une sinusoïde à $f = 55$ MHz et on fait suivre le mélangeur par un filtre centré sur 75 MHz.

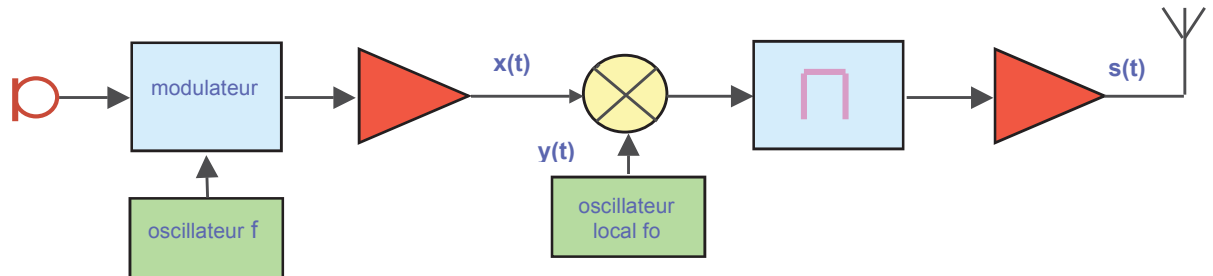


Le filtre est nécessaire pour supprimer la composante à la fréquence différence, soit à 35 MHz.

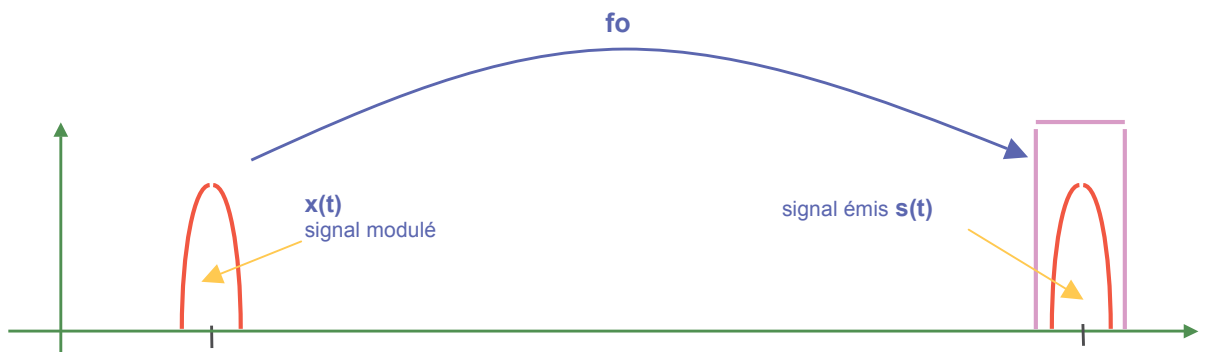
4- Le changement de fréquence dans un émetteur :

Dans un émetteur, le signal $x(t)$ modulé AM ou FM est en général :

- produit à une fréquence assez basse
- transposé à la fréquence d'émission à l'aide d'un changeur de fréquence



La valeur de la fréquence de l'oscillateur local f_0 détermine la fréquence d'émission qui vaut $f + f_0$



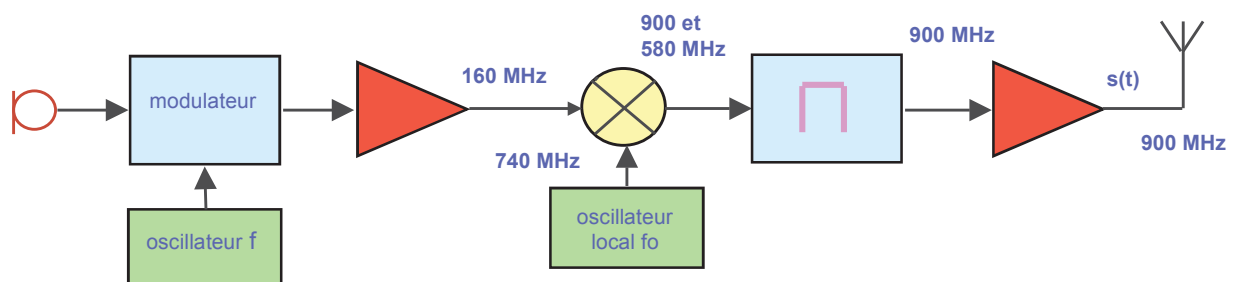
Remarques :

- en utilisant comme oscillateur local un synthétiseur de fréquence, il sera facile de faire varier f_0 et donc de changer de canal.
- cette fonction est appelée « up-converter » par les anglo-saxons

Exemple :

Dans un téléphone GSM, le signal à transmettre vers la station de base est produit à $f = 160$ MHz.

Pour le transposer à la fréquence d'émission de 900 MHz, il va être multiplié par $f_0 = 740$ MHz, puis filtré à 900 MHz pour éliminer la fréquence indésirable de $740 - 160 = 580$ MHz.



5- Le changement de fréquence dans un récepteur :

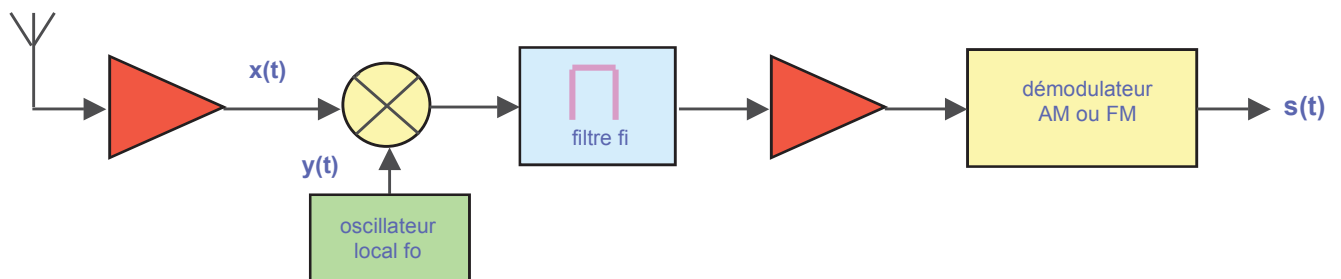
Dans un récepteur, il est souvent difficile de sélectionner l'émetteur qu'on souhaite recevoir par un simple filtre passe-bande.

Ce filtre doit souvent avoir des caractéristiques très difficiles à concilier :

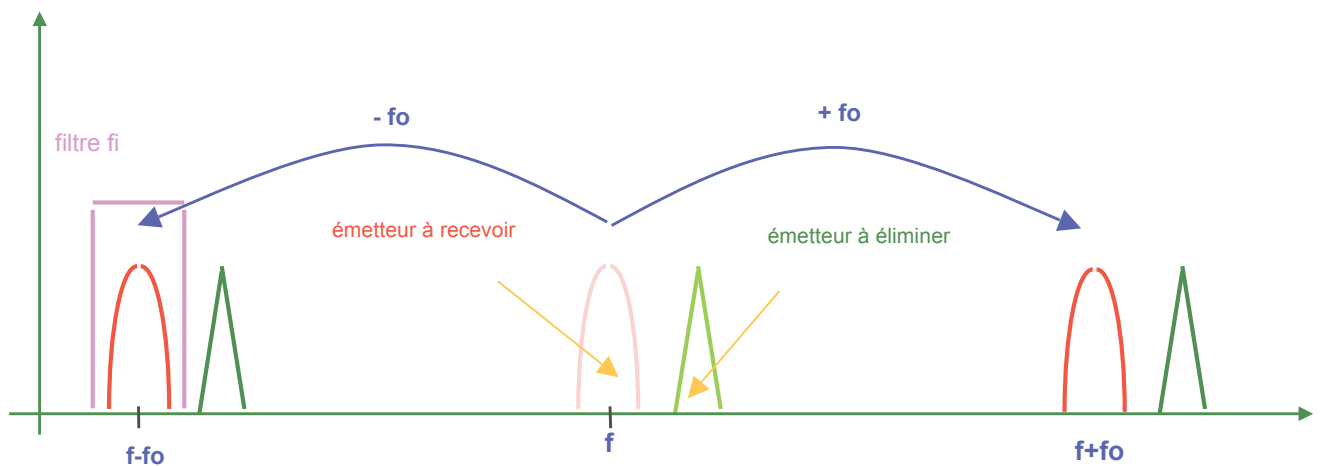
- fréquence centrale variable
- largeur fixe égale à l'encombrement spectral de l'émetteur
- coefficient de qualité impossible à atteindre

Pour contourner cette difficulté, on utilise presque systématiquement le récepteur à changement de fréquence inventé par Edwin H. Armstrong.

Le mélangeur reçoit les signaux provenant de l'antenne et les multiplie tous par un signal sinusoïdal issu de l'oscillateur local f_0 :



Le spectre en sortie du mélangeur est riche, puisque pour chaque émetteur capté à la fréquence f , on a en sortie du mélangeur le même signal, mais aux fréquences $f-f_0$ et $f+f_0$.



Un seul de ces signaux à la fréquence $f-f_0$ tombera dans la bande passante du filtre f_i et sera donc démodulé.

On sélectionne donc l'émetteur désiré en agissant sur f_0 , le filtre de fréquence intermédiaire étant fixe.

Cette technique de sélection d'un émetteur est universelle et utilisée dans la réception radio, TV, téléphone cellulaire etc ...

Exemple :

Pour recevoir ECN-Mulhouse à $f = 98,1$ MHz avec une fréquence intermédiaire $f_i = 10,7$ MHz, il faut transposer ECN à 10,7 MHz.

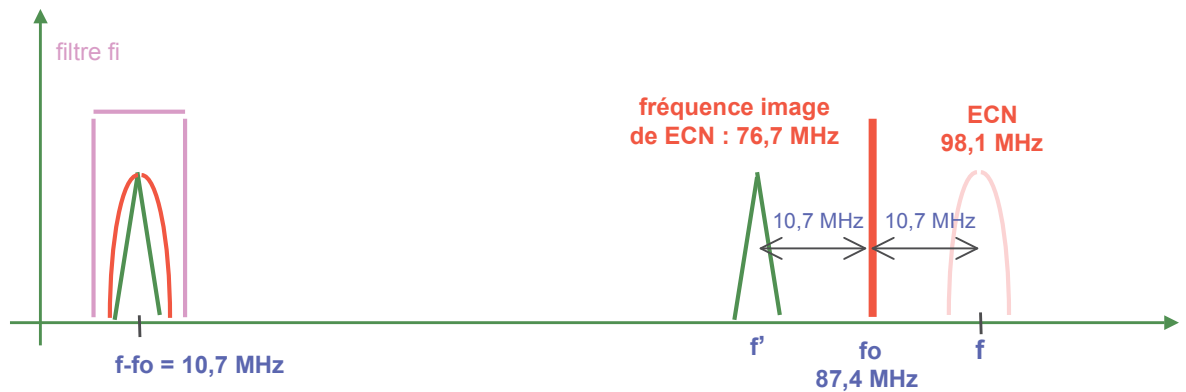
On règle donc l'oscillateur local à $f_0 = 87,4$ MHz pour que $f-f_0 = 98,1 - 87,4 = 10,7$ MHz.

6- Le problème de la fréquence image :

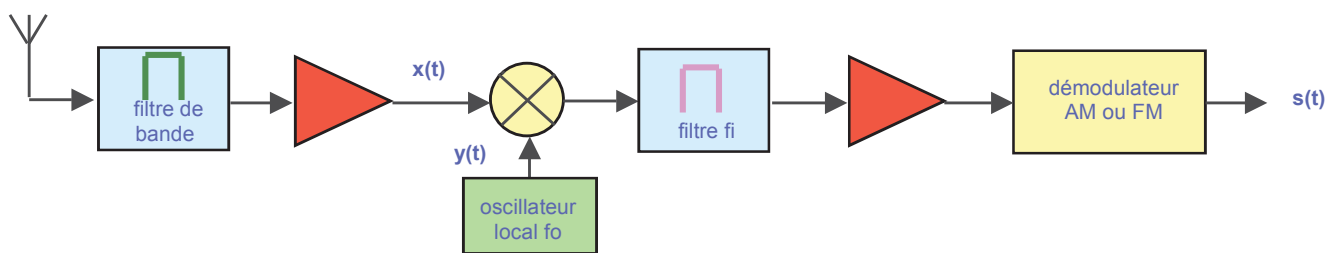
Cette structure presque idéale a un seul défaut :

- pour une valeur donnée de l'oscillateur local f_0 on reçoit en réalité 2 émetteurs f et f'
- la deuxième fréquence f' non désirée est appelée **fréquence image de f**

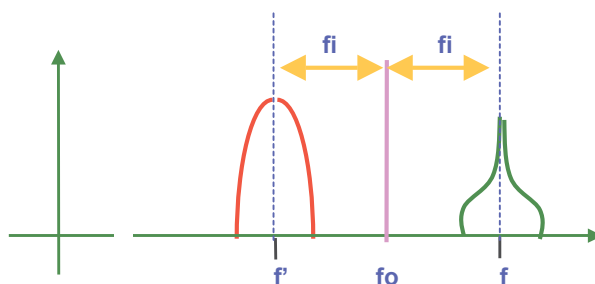
Exemple : pour recevoir ECN, on avait réglé $f_0 = 87,4$ MHz. Mais un signal à $f' = 76,7$ MHz sera aussi transposé à 10,7 MHz par le mélangeur, il sera donc aussi démodulé et entendu si on ne l'élimine pas.



L'émetteur image de ECN n'est pas dans la bande FM, il est donc facile à éliminer avec un filtre de bande (de 88 à 108 MHz) placé à l'entrée du récepteur :



Question : comment trouver la fréquence image f' d'un émetteur f ?



f et f' sont toujours symétriques par rapport à f_0
l'écart entre f_0 et les deux émetteurs est toujours égal à f_i

L'émetteur image doit être filtré dès l'entrée du récepteur, ce qui est plus facile s'il est loin de f . On choisit donc dans la pratique une f_i suffisamment élevée :

- bande FM : $f_i = 10,7$ MHz pour une réception autour de 100 MHz
- bande PO : $f_i = 455$ kHz ----- 1 MHz
- bande TV : $f_i = 38,9$ MHz ----- de 400 à 800 MHz
- bande GSM : $f_i = 70$ à 250 MHz ----- autour de 900 MHz

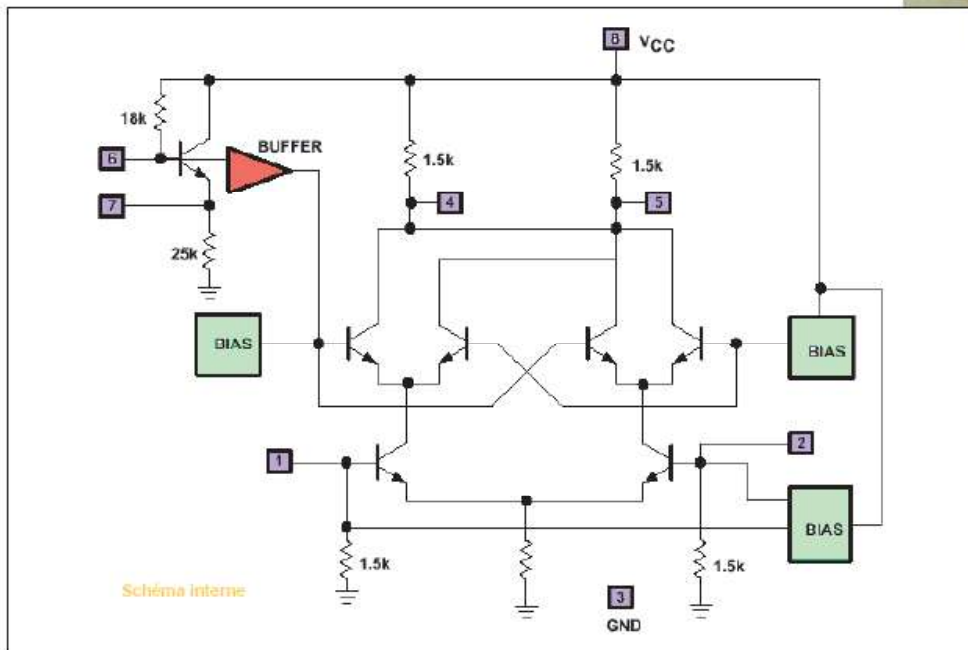
L'amplificateur RF d'entrée sera sélectif et aura pour tâche d'éliminer un éventuel émetteur placé à la fréquence image. Ce filtre d'entrée peut être fixe (filtre de bande en CB, GSM) ou variable et commandé parallèlement avec l'oscillateur local (récepteur FM, TV ...).

7- Les différents types de mélangeurs :

Le mélangeur « universel » est aujourd'hui le mélangeur à transistor ou « cellule de Gilbert » dont il existe de nombreuses réalisations commerciales :

Les caractéristiques de ce circuit sont les suivantes :

- bornes 1 et 2 : **entrée RF** (gamme 0 à 500 MHz)
- bornes 6 et 7 : **entrée oscillateur local**
- bornes 4 et 5 : **sortie**
- borne 8 et 3 : **alimentation et masse**
- gain de conversion : 14 dB
- facteur de bruit : $N=5\text{dB}$
- niveau d'oscillateur local : **entre 200 et 300 mV crête-crête**



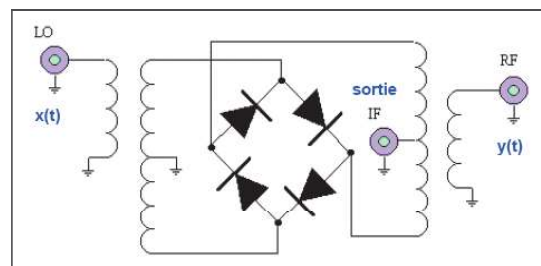
De nombreuses versions de ce circuit ont été commercialisées par différents constructeurs :

- NE602 – NE612
- SA602 – SA612
- SQ42P (structure voisine)

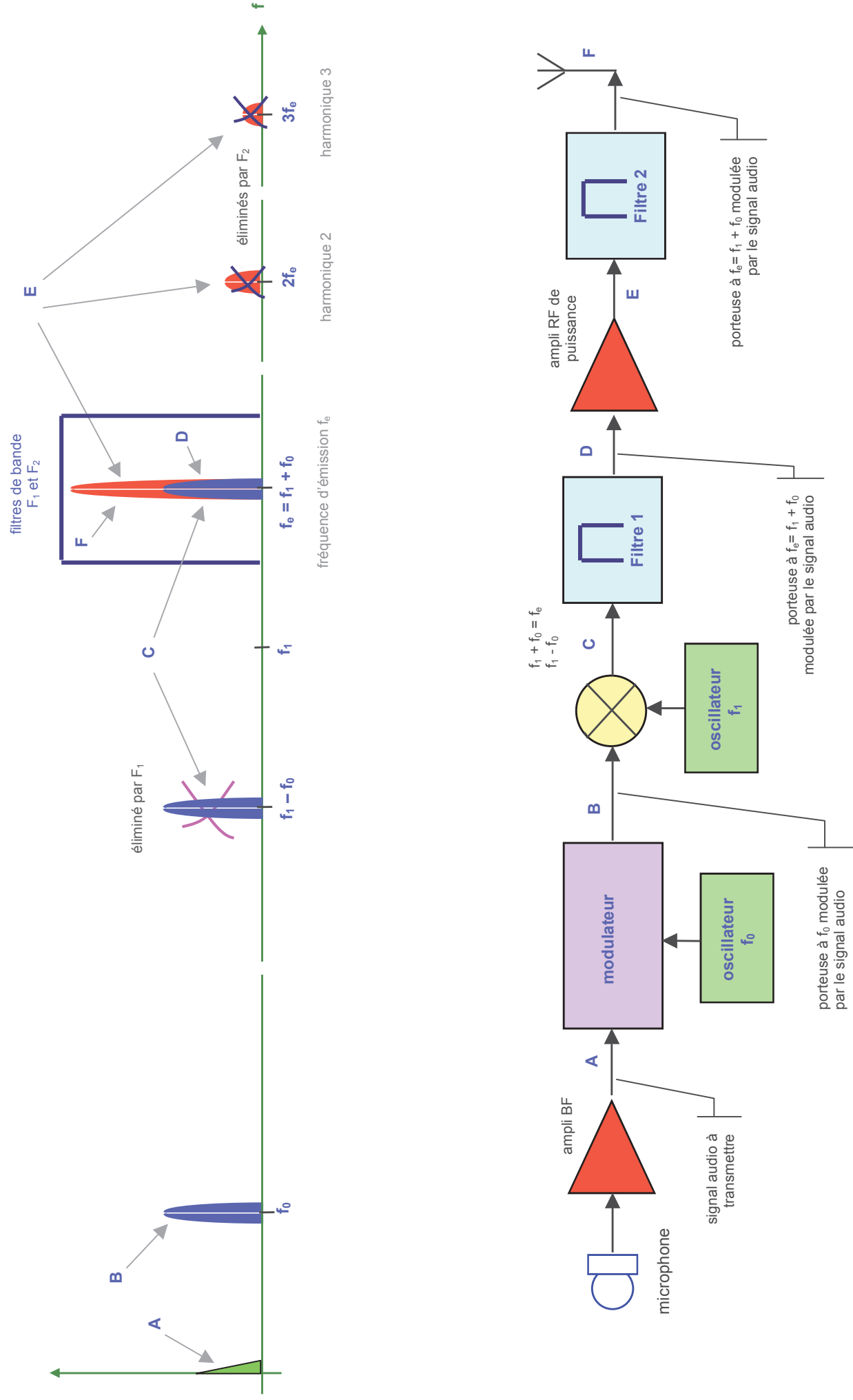
Ce type de mélangeur couvre les besoins du changement de fréquence jusqu'à quelques GHz.

Aux fréquences supérieures, on utilise la non-linéarité de 1,2 ou 4 diodes pour faire du mélange :

- mélange à une diode dans les radars Doppler
- mélange à 2 diodes dans les têtes de TV satellite
- mélange à 4 diodes dans les mélangeurs Schottky



Annexe 1 : vue d'ensemble d'un émetteur



Annexe 2 : vue d'ensemble du récepteur à changement de fréquence

