

## La réception des ondes électromagnétiques

### Principe :

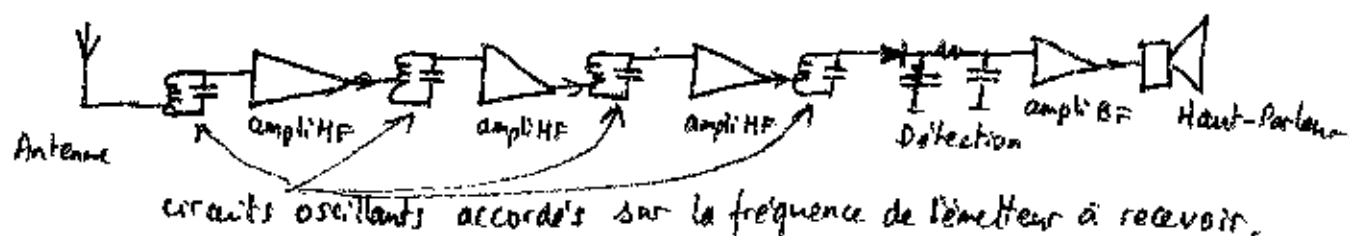
Comme cela a déjà été dit les ondes électromagnétiques émises par l'émetteur parviennent à l'antenne du récepteur, et induisent dans celle-ci une tension alternative de haute fréquence modulée selon différents procédés (AM, FM, SLU, télévision...)

Le rôle du récepteur est de sélectionner parmi les multitudes de tensions HF arrivées à l'entrée du récepteur par l'antenne, celle que l'on veut recevoir, ensuite amplifier cette tension d'une valeur extrêmement faible (quelques  $\mu V$  à quelques  $mV$ ) sans déformer la forme du signal pour ne pas altérer la modulation contenue dans la tension HF, puis démoduler la HF pour extraire la modulation (signal basse fréquence), amplifier cette BF et l'appliquer au haut-parleur pour restituer le son émis dans le micro de l'émetteur.

### Sélection des signaux HF

À l'entrée du récepteur les tensions HF provenant de l'antenne qui capte les ondes électromagnétiques émises par différents émetteurs peuvent se différencier par le fait que leurs fréquences sont différentes. En effet les fréquences des ondes électromagnétiques émises par différents émetteurs sont différentes. Si ce n'est pas le cas il y a risque d'interférence donc de brouillage.

Le récepteur sélectionne l'émetteur qu'on veut recevoir en amplifiant sélectivement la tension HF : le récepteur par une série d'amplificateurs consécutifs comportant des circuits oscillants n'amplifie que les tensions HF dont la fréquence est celle de l'émetteur qu'on veut recevoir.

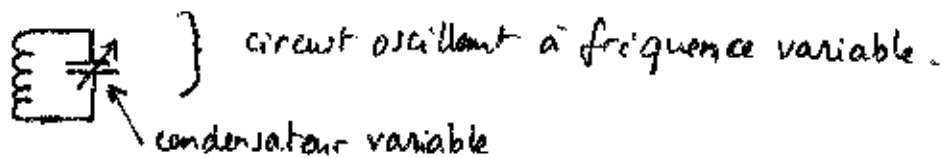


le récepteur dont le schéma de principe correspond au schéma précédent est dit récepteur à amplification directe : on amplifie directement le signal HF puis on le démodule ensuite.

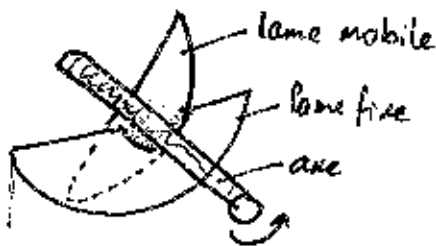
L'inconvénient d'un récepteur sur ce principe est sa sélectivité (capacité à sélectionner des tensions HF de fréquences différentes) trop faible dans certaines applications.

En effet pour avoir une sélectivité suffisante il faut un nombre de circuits oscillants accordés sur la fréquence à recevoir relativement important (4, 5 ou même plus). Si on veut changer la fréquence reçue (écouter un autre émetteur), il faut alors changer la fréquence de résonance de tous les circuits oscillants accordés et les accorder sur la nouvelle fréquence que l'on veut recevoir.

Pour faire varier la fréquence des circuits oscillants on utilise des condensateurs variables.



Il existe différents modèles de condensateurs variables les plus courants étant constitués par des lames de formes demi-circulaires montées sur un axe qui tourne. D'autres lames demi-circulaires fixes constituent l'autre armature du condensateur.



La surface des armatures en regard l'une de l'autre est variable en fonction de l'angle de rotation de l'axe ; la capacité est alors variable.

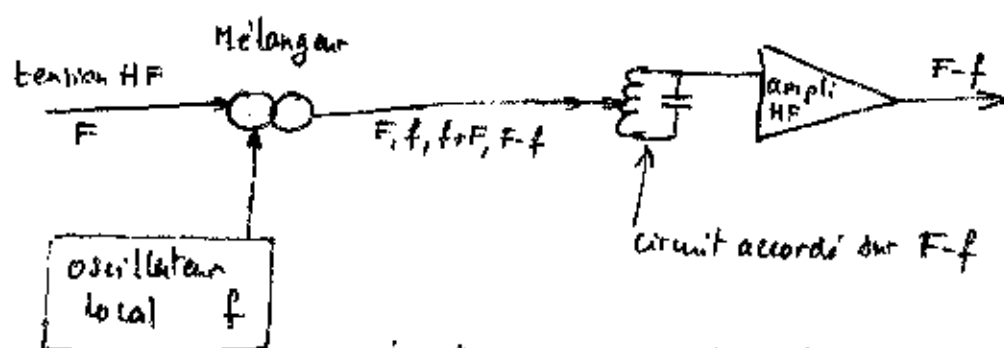
La difficulté est alors de commander mécaniquement 4, 5 condensateurs variables (C.V) en même temps. Il existe des modèles à 2 ou 3 cages montés sur un même axe (équivalents à 2 ou 3 CV). Au delà cela devient encombrant.

## le récepteur super-hétérodyne

le récepteur super-hétérodyne consiste à effectuer un changement de fréquence. Pour cela on mélange la tension HF correspondant à l'émetteur qu'on veut recevoir de fréquence  $F$ , à une tension HF sinusoïdale de fréquence  $f$  produite par un oscillateur local (O.L.)

Comme pour la modulation d'amplitude à double bande latérale ou à bande latérale unique en mélangeant des tensions HF de fréquences  $F$  et  $f$  on obtient un signal comportant les fréquences  $F, f, f+F, F-f$  (ou  $f-F$ ).

Si ensuite on amplifie de façon sélective  $F-f$  par exemple (ce qui suppose  $F$  supérieur à  $f$ ) on obtiendra un signal de fréquence différente du signal initial :  $F-f$  au lieu de  $F$ .



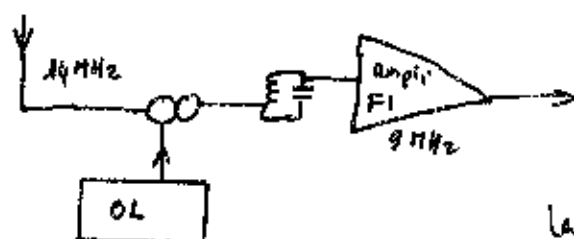
la fréquence  $F-f$  obtenue s'appelle fréquence intermédiaire (notée FI)

Pour sélectionner la fréquence à recevoir il suffit alors de faire varier la fréquence  $f$  de l'O.L. jusqu'à ce que  $F-f = FI$ . Un seul condensateur variable suffit alors c'est celui qui commande la fréquence de l'O.L.

Finalement quelque soit la fréquence de l'émetteur on ramène par changement de fréquence sa valeur à FI. On peut alors amplifier sélectivement FI en utilisant autant de circuit oscillant qu'il en veut puisque FI est fixe et même utiliser des filtres céramiques, ou à quartz extrêmement sélectifs qui ne laisseront passer par exemple que  $10,7 \text{ MHz} \pm 7,5 \text{ kHz}$  ou encore  $9 \text{ MHz} \pm 15 \text{ kHz}$   
(FM) (BLU)

## Fréquence image

Imaginons que l'on veuille réaliser un récepteur super-hétérodyne pour capter la bande des 20m (14-14,350 MHz) avec une fréquence intermédiaire de 9 MHz ; plusieurs possibilités existe pour le choix de la fréquence de l'OL :



soit  $f_{OL} = 5/5,350 \text{ MHz}$   
alors  $(14/14,350 - f_{OL})$  donnera  
la FI de 9 MHz

soit  $f_{OL} = 23/23,350 \text{ MHz}$   
alors  $(f_{OL} - 14/14,350)$  donnera  
la FI de 9 MHz

On a donc deux possibilités pour le choix de la fréquence de l'OL  
soit  $f_{OL} = F - FI$  c'est le "battement infradyne"  $f_{OL} < F$   
soit  $f_{OL} = F + FI$  c'est le "battement supradyné"  $f_{OL} > F$

Supposons qu'on choisisse le battement infradyne cad  $f_{OL} = 5 \text{ MHz}$   
(14-5 = 9 MHz) si à l'entrée du mélangeur se trouve un signal de 4 MHz, mélangé avec le 5 MHz de l'OL on obtiendra en sortie de mélangeur 4+5, 5-4, 5 et 4 MHz, soit 9, 1, 5, 4 MHz.

Les fréquences 1, 5, 4 MHz seront éliminées par l'ampli FI sélectif mais par contre le 9 MHz sera bien amplifié, si bien qu'à la sortie de l'ampli FI on trouvera deux signaux de fréquence 9 MHz celui correspondant au signal de 14 MHz qu'on voulait écouter celui correspondant au signal de 4 MHz qui viendra interférer avec le signal issu du 14 MHz.

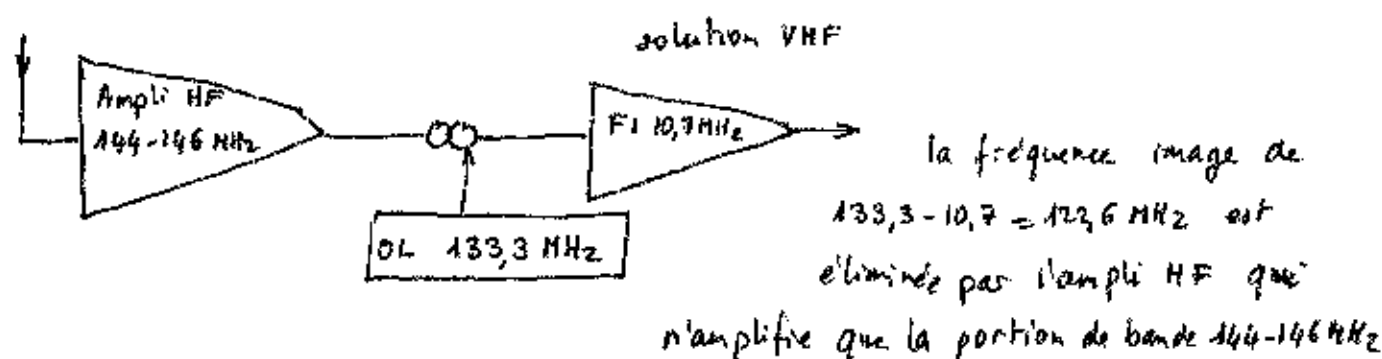
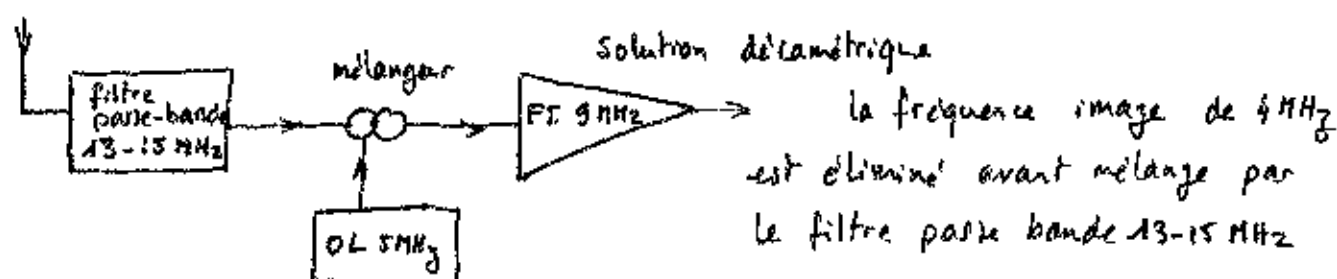
La fréquence de 4 MHz s'appelle fréquence image du 14 MHz.

De même en choisissant le "battement supradyné" avec l'OL à 23 MHz  
 $23 - 14 = 9 \text{ MHz}$  c'est ce qu'on cherche à recevoir mais on a aussi  
 $32 - 23 = 9 \text{ MHz}$  donc en voulant capter le 14 MHz on capte aussi le 32 MHz d'où interférence

La fréquence image du 14 MHz est dans ce cas le 32 MHz

Pour résoudre ce problème inhérent au système superhétérodyne qu'est l'apparition de la fréquence image, il faut éliminer cette fréquence image avant le mélangeur. Après le mélangeur c'est trop tard car les signaux ont alors la même fréquence.

L'élimination de la fréquence image se fait soit en utilisant un filtre, soit en utilisant un étage HF amplificateur accordé sur la bande à recevoir :

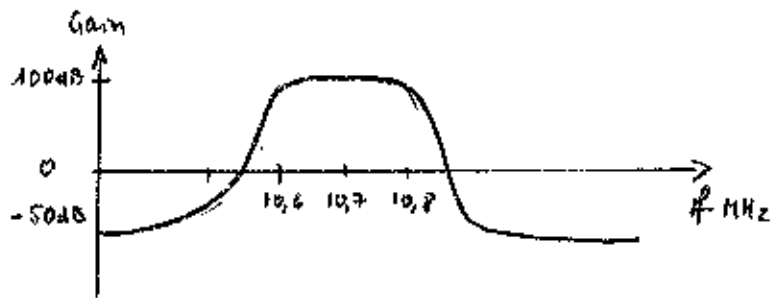


### Amplification de la fréquence intermédiaire - largeur de bande

L'ampli FI est un ampli sélectif constitué de transistors ou de circuits intégrés et de circuits oscillants accordés sur la FI ou de filtre à quartz ou céramiques de valeur FI.

La largeur de bande de l'ampli FI, c'est à dire l'intervalle de fréquence autour de FI, qu'il amplifie dépend de la largeur du spectre de l'émission qu'on veut recevoir :

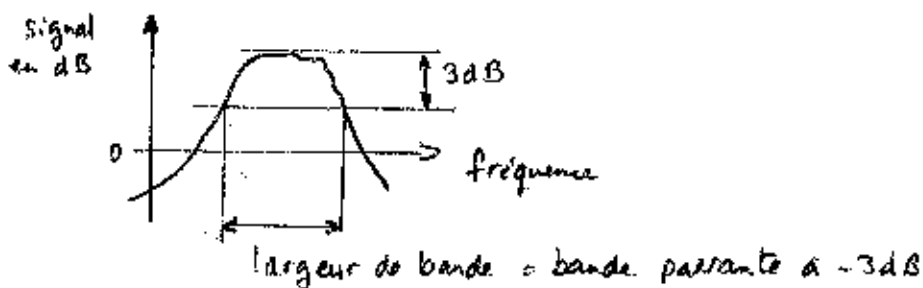
en FM radiodiffusion où la largeur de spectre est de  $\pm 100$  kHz on utilise généralement une FI à 10,7 MHz. L'ampli FI doit amplifier correctement toute les fréquences comprises entre 10,6 et 10,8 MHz



Gain d'un ampli FI FM  
radio-diffusion en fonction de  
la fréquence. FI = 10,7 MHz

En BLU la largeur de spectre n'est que de 3 kHz, l'ampli FI doit amplifier de 8,9985 MHz à 9,0015 MHz (pour une FI de 9 MHz). Pour obtenir une telle sélectivité un filtre à quartz est à peu près indispensable. Ce filtre à quartz est aussi utilisé dans la partie émission d'un émetteur récepteur BLU pour éliminer soit la BLI soit la BLS en sortie du mélangeur équilibré.

la largeur de bande d'un ampli FI ou d'un filtre de bande c'est l'intervalle de fréquence pour lequel l'atténuation du signal n'est pas inférieure à 3 dB (puissance divisée par 2 ou tension divisée par  $\sqrt{2}$ )

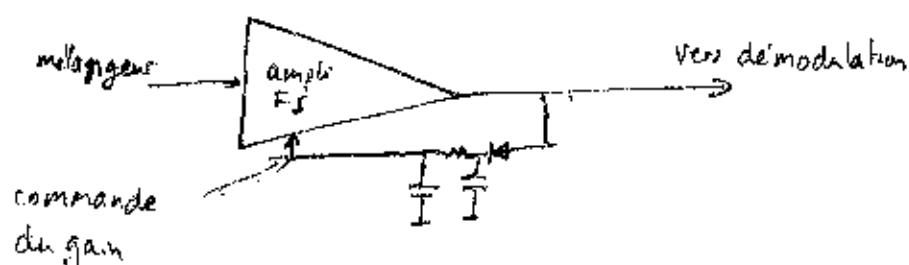


### Dynamique de l'ampli FI

La différence de niveau considérable des signaux à la sortie de l'antenne (de quelques microvolts à quelques dizaines de millivolts) impose d'avoir un ampli FI capable d'amplifier très fortement les signaux faibles et très faiblement les signaux forts.

Pour cela on utilise un système de commande automatique de gain (C.A.G.) de l'ampli qui fait varier le gain de l'ampli FI en fonction de la force des signaux reçus de telle sorte qu'en sortie d'ampli FI la force des signaux soit à peu près constante. Le gain de l'ampli FI varie dans des proportions de 60 dB minimum soit de 1 à 1 000 000.

la CAG fonctionne en détectant avec une diode le signal à la sortie de l'ampli FI : on obtient une tension continue variable en fonction du niveau du signal. Cette tension continue commande le gain de l'ampli FI.



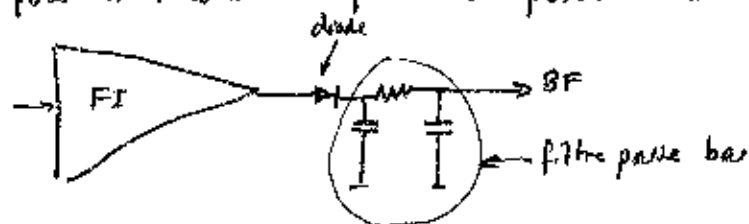
### Démodulation

À la sortie de l'ampli FI on dispose du signal HF (dont la fréquence a été changée) modulé en amplitude ou en fréquence ou par tout autre procédé de modulation.

Ce signal modulé est appliqué à un circuit démodulateur qui en extrait la composante BF quand il s'agit de radiophonie. Le signal BF est alors amplifié et appliqué au haut-parleur pour restituer le son émis dans le micro de l'émetteur.

#### AM

Lorsque le signal est modulé en amplitude à double bande latérale la démodulation consiste simplement à détecter le signal avec une diode à filtrer pour n'en conserver que la composante BF.



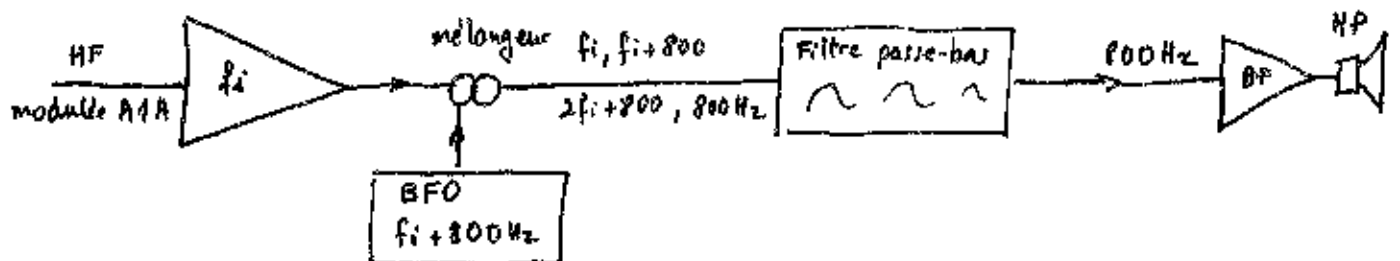
#### CW

Par contre pour démoduler de la télégraphie (onde HF pure découplée au rythme de la modulation) ce système de détection avec une diode ne convient pas car le "trait" ou le "point" une fois détecté se traduit par une tension BF continue qui ne fera pas vibrer la membrane du Haut-parleur : on entendra tout au plus un "ploc" du haut parleur à chaque trait ou chaque point mais pas un sifflement.

Pour démoduler de la télégraphie on mélange le signal HF à la sortie de l'ampli FI (tension sinusoïdale pure, mais "hachée") dont la fréquence est  $f_i$  à une tension HF sinusoïdale continue dont la fréquence est décalée par exemple de 800 Hz soit  $f_i + 800$  Hz (ou  $f_i - 800$  Hz). On retrouve à la sortie du mélangeur les fréquences  $f_i$ ,  $f_i + 800$ ,  $f_i + f_i + 800$  et 800 Hz.

Comme  $f_i$  est de l'ordre de plusieurs mégahertz en filtrant avec un filtre passe bas il ne restera que le 800 Hz.

En l'absence de HF (entre les points et les traits) il n'y a que  $f_i + 800$  Hz en sortie du mélangeur et finalement plus rien après le filtre passe bas.



Finalement quand de la HF arrive à l'entrée de l'ampli FI (point entrant) il apparaît du 800 Hz qui amplifié fait vibrer la membrane du haut-parleur donc produit un sifflement à 800 Hz.

L'oscillateur local à  $f_i + 800$  Hz est appelé BFO (bass frequency oscillator). Si on veut écouter avec une note plus aigue il suffit de décaler le BFO à  $f_i + 1200$  Hz par exemple. (A noter qu'il y a un problème de fréquence image car avec le BFO à  $f_i + 800$  Hz on entend à la fois  $f_i$  et  $f_i + 1600$  Hz car  $(f_i + 1600) - (f_i - 800) = 800$  Hz).

En écoute de télégraphie pour ne pas avoir ce problème de fréquence image au niveau de la restitution de la note BF il faut que l'ampli FI soit suffisamment sélectif pour éliminer  $f_i + 1600$  ce qui est réalisé quand on utilise un filtre à quartz dans la FI.

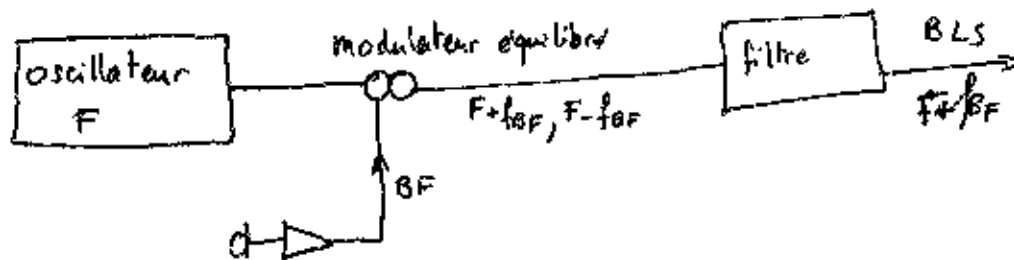
### Démodulation de la BLU

Rappelons qu'à l'émission pour obtenir de la BLU on mélange dans un mélangeur équilibré le signal BF du micro avec une tension HF de fréquence  $F$ .



On n'obtient alors en sortie du mélangeur équilibré que les signaux de fréquence  $F + f_{BF}$  et  $F - f_{BF}$  ( $f_{BF}$  étant la fréquence du signal BF modulant pouvant varier de 0 à 3 kHz)

Le filtre à quartz élimine par exemple  $F - f_{BF}$  si on veut conserver la bande latérale supérieure (BLS)



En réception il suffit de procéder comme en télégraphie en mélangeant  $F + f_{BF}$  avec un BFO réglé à la fréquence  $F$  et en filtrant avec un filtre passe bas on retrouve le signal BF modulant.

Il faut veiller à faire la battement (la mélange des fréquences) dans le bon sens de telle sorte que si à l'émission la BF varie de 200 à 2000 Hz à la réception elle varie bien dans le même sens de 200 à 2000 Hz et non pas de 2000 à 200 Hz.

Si le spectre BF a été "retourné" (les graves transformées en aigües et inversement) le signal est incompréhensible.

De même il est impératif de caler le BFO sur la fréquence exacte à quelques dizaines de Hz près sinon le signal devient trop grave ou trop aigu et est inaudible.

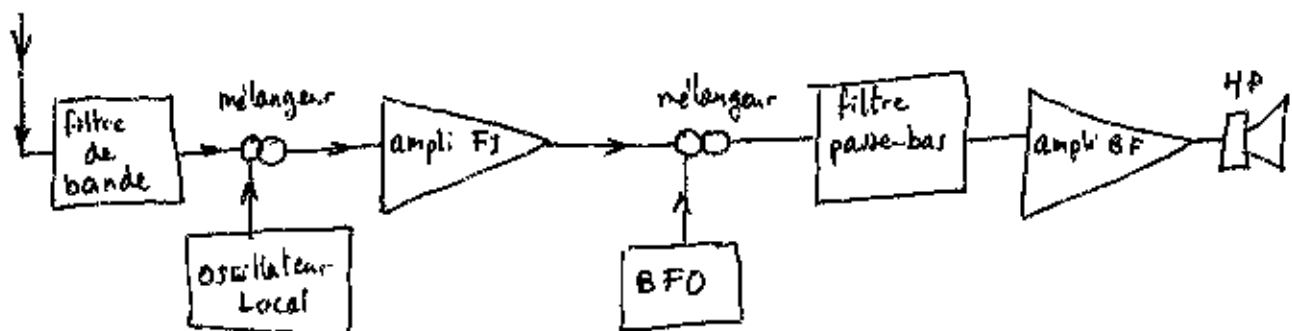


schéma synoptique d'un récepteur BLU ou CW super-hétérodyne

## FM

Un récepteur FM (modulation de fréquence) diffère d'un récepteur AM ou BLU essentiellement par le système de démodulation. La détection en AM ou le BFO et mélangeur en BLU-cw sont remplacés en FM par un discriminateur ou un détecteur de rapport.

La bande passante de l'ampli FI est aussi plus large: 15 kHz en FM à bande étroite, 200 kHz en FM radiodiffusion.

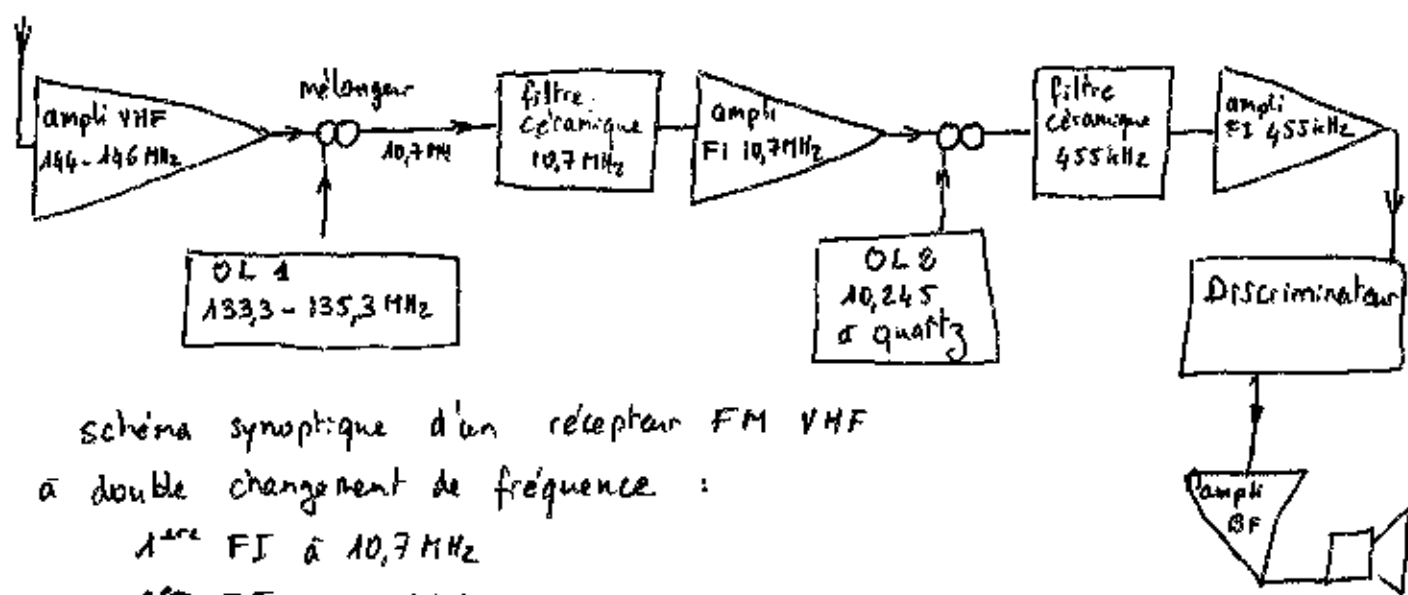


schéma synoptique d'un récepteur FM VHF  
à double changement de fréquence :

1<sup>re</sup> FI à 10,7 MHz

2<sup>e</sup> FI à 455 kHz

L'intérêt de la première FI à 10,7 MHz est de rejeter la fréquence image à 122,6-124,6 MHz que l'ampli VHF peut éliminer alors que si cette première FI était de 455 kHz la fréquence image serait dans la bande passante de l'étage VHF et ne pourrait être éliminée.

L'intérêt du deuxième changement de fréquence est d'obtenir une FI basse où à cette fréquence les filtres céramiques sont faciles à réaliser et bon marché. On pourrait se contenter d'un seul filtre FI à 10,7 MHz à quartz mais c'est généralement plus onéreux.