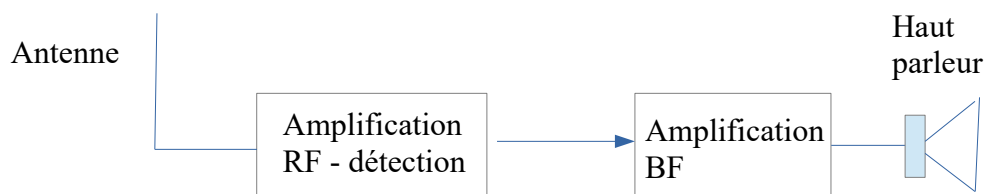


Récepteurs

1°) Récepteurs à conversion directe.

Ce type de récepteur a été utilisé pendant de très nombreuses années pour recevoir l'AM, la **modulation d'amplitude (A3E)**



Ces récepteurs étaient **peu sensibles**, ils ne recevaient pas ou peu les stations faibles, les signaux des stations proches très puissantes étaient distordus. Il était difficile de séparer deux stations proches en fréquence (**peu sélectif**).

2°) Les récepteurs superhétérodynes

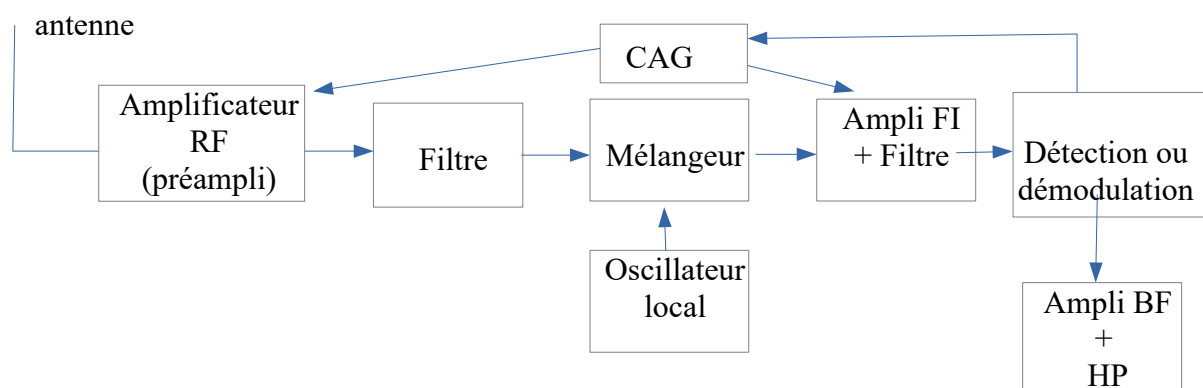


Schéma synoptique d'un récepteur à simple changement de fréquence

La chaîne de réception se présente de la façon suivante :

1 - amplificateur RF- filtre de bande

Pour un récepteur multibande, on commute des filtres centrés sur la bande à recevoir.

2 - changement de fréquence

Le but est de transformer pour chaque bande à recevoir le signal reçu en une fréquence unique, la **fréquence intermédiaire (FI)**. On **mélange** le signal RF à recevoir à un signal issu d'un **oscillateur local** (fixe à quartz ou VFO). Après mélange le signal est envoyé vers l'étage FI, c'est dans cet étage que **l'amplification du signal et son filtrage** vont permettre à la **détection** d'extraire le signal AF (audiofréquence) du signal RF (radiofréquence). Pour le changement de fréquence, deux blocs sont nécessaires, **l'oscillateur local** et le **mélangeur**.

3 - détection

L'extraction du signal AF du signal RF se fait de façon différente pour l'AM, la CW, la BLU et la FM

4 - amplification BF

5 - la CAG (ou AGC en anglais)

La différence peut être très grande entre des signaux très faibles et des niveaux très élevés de réception, ce qui se traduirait par de très grandes différences au niveau du haut parleur. Le rôle du **Contrôle Automatique du Gain (la CAG ou AGC)** est de maintenir un niveau constant dans le haut-parleur quelle que soit la puissance du signal reçu en agissant sur les amplificateurs RF et FI.

3°) Principe du changement de fréquence.

Sur une antenne sont captés une grande quantité de signaux de fréquences très différentes.

L'étage RF effectue un premier filtrage.

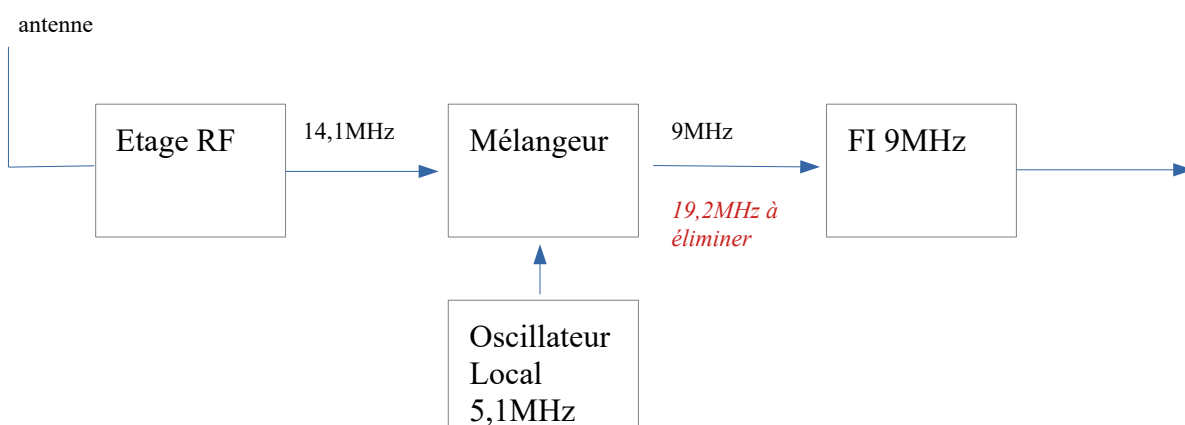
L'étage FI (fréquence intermédiaire) est un étage à **amplification très sélective**, quelques kHz, réglé sur une fréquence bien définie : **9MHz, 455 kHz, 10,7 MHz.**

Si la fréquence à recevoir F_r est supérieure à la fréquence intermédiaire F_i , le mélange est **supradyne**

Si $F_r < F_i$, le mélange est **infradyne**

1 - Étudions le cas d'un mélange supradyne

a) Comment recevoir un signal de 14,1MHz avec une FI de 9MHz ?



Un oscillateur de fréquence $F_1 = 5,1$ MHz est mélangé avec le signal incident de $F_2 = 14,1$ MHz

Les produits du mélange sont : $F_2 - F_1 = 9$ MHz et $F_2 + F_1 = 19,2$ MHz (il y a aussi d'autres produits du mélange, voir le chapitre modulations). Le signal 19,2 MHz sera éliminé par l'étage FI, seul le signal 14,1 MHz sera traité.

b) Un signal de 14,104 MHz sera-t-il reçu ?

Les produits du mélange sont maintenant :

$$F_2 - F_1 = 14,104 - 5,1 = 9,004 \text{ MHz et}$$

$$F_2 + F_1 = 19,204 \text{ MHz}$$

Si la bande passante de la FI est 3kHz (de 8,9985 à 9,0015 MHz) le signal de fréquence 14,104MHz ne sera pas transmis. On comprend donc ici l'importance de l'étage FI pour la séparation de fréquences proches autrement dit : la sélectivité.

c) Comment alors écouter le message transmis sur 14,104MHz ?

Il suffit de rendre l'oscillateur local variable (VFO). Supposons qu'il soit variable de 5 à 5,5MHz et réglons le sur 5,104 MHz. Les fréquences issues du mélange seront donc :

$$F_2 - F_1 = 14,104 - 5,104 = 9 \text{ MHz et}$$

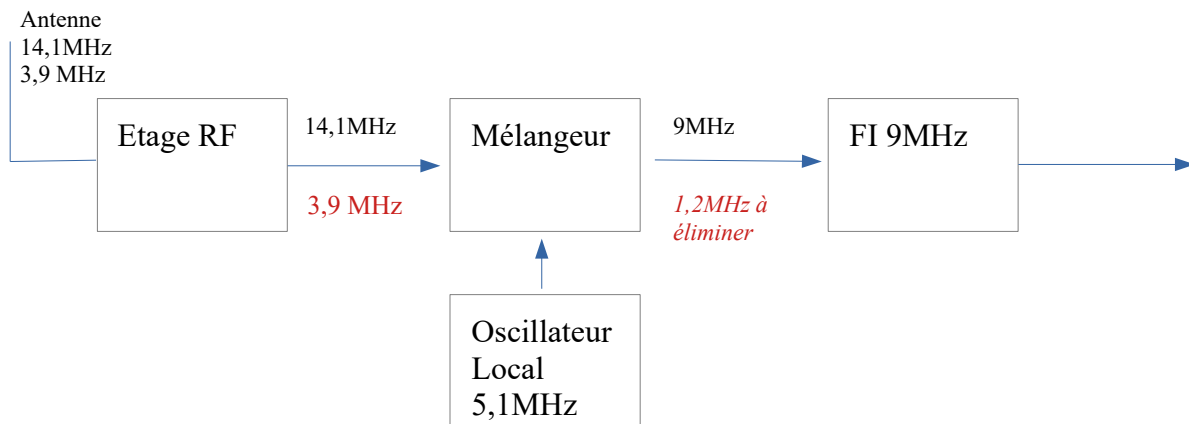
$$F_2 + F_1 = 14,104 + 5,104 = 19,208 \text{ MHz (éliminé dans$$

l'étage FI)

Le signal 14,104 MHz sera donc transmis aux autres étages (démodulation et amplification AF)

Avec le VFO réglable de 5 à 5,5MHz, on pourra dès lors écouter entre 14 et 14,5 MHz. Il va sans dire que la fréquence du VFO doit être très stable.

d) Inconvénient du changement de fréquence, la fréquence image.



Le VFO est réglé sur 5,1 MHz, nous avons vu que le signal 14,1 MHz sera transmis.

Qu'en est-il du signal 3,9MHz présent sur l'antenne ?

Les produits du mélange sont :

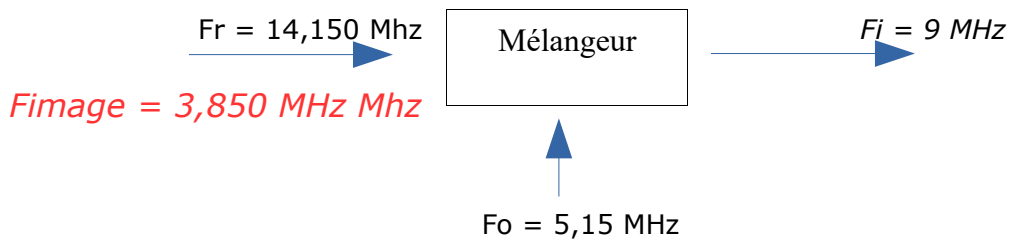
$$5,1 - 3,9 = 1,2 \text{ MHz (éliminé dans les étages RF et FI) et}$$

$$5,1 + 3,9 = 9 \text{ MHz qui sera transmis.}$$

Les deux fréquences 14,1 et 3,9 seront reçues et démodulées. Il faut l'éliminer avant qu'elle ne parvienne aux étages FI, l'étage RF doit donc être très sélectif. La fréquence 3,9 MHz perturbatrice est appelée fréquence image

e) Comment calculer la fréquence image dans un mélange supradyné ?

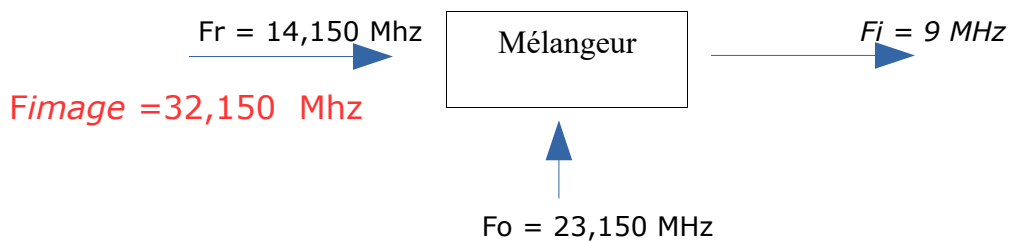
Cas n°1 : F_r (fréquence à recevoir) > F_o (fréquence de l'oscillateur)



Fréquence Image = $2 \times$ Fréquence intermédiaire – fréquence à recevoir
ou
Fréquence Image = fréquence à recevoir - $2 \times$ Fréquence intermédiaire
(choisir le résultat positif)

$$F_{image} = 2 \times 9 - 14,150 = 3,850 \text{ MHz (remarque : } 3,850 + 5,150 = 9 \text{ MHz)}$$

Cas n°2 : $F_r < F_o$



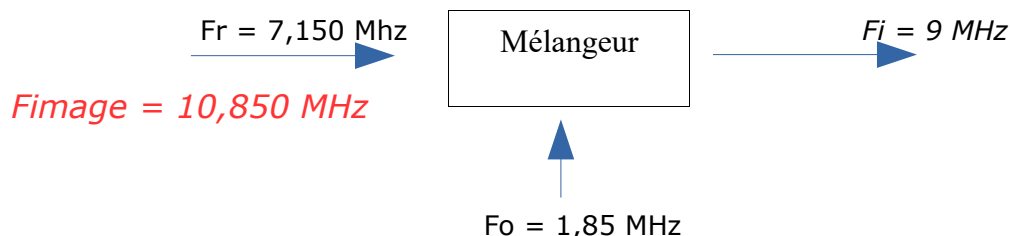
Fréquence Image = fréquence à recevoir + $2 \times$ Fréquence intermédiaire

$$F_{image} = 2 \times 9 + 14,150 = 32,150 \text{ MHz}$$

(remarque : $32,150 + 23,150 = 9 \text{ MHz}$)

f) Comment calculer la fréquence image dans un mélange infradyne ?

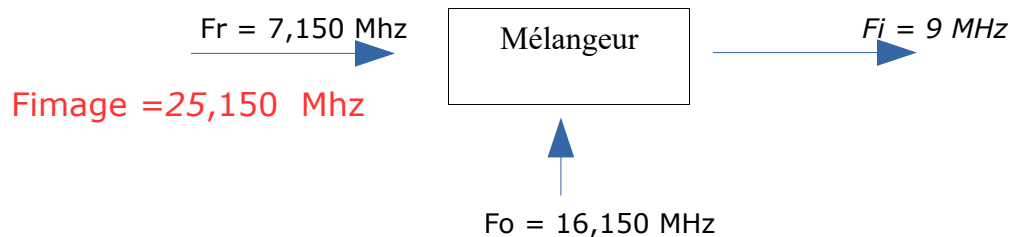
Cas n°1 : F_r (fréquence à recevoir) > F_o (fréquence de l'oscillateur)



Fréquence Image = $2 \times$ Fréquence intermédiaire - fréquence à recevoir

$F_{\text{image}} = 2 \times 9 + 7,150 = 10,850 \text{ MHz}$ (remarque : $10,850 - 1,850 = 9 \text{ MHz}$)

Cas n°2 : $F_r < F_o$



Fréquence Image = fréquence à recevoir + $2 \times$ Fréquence intermédiaire

$F_{\text{image}} = 2 \times 9 + 7,150 = 25,150 \text{ MHz}$
(remarque : $25,150 - 16,150 = 9 \text{ MHz}$)

f) Quelques exemples :

Exemple 1 : fréquence à recevoir F_r : 28,7 MHz
fréquence intermédiaire F_i : 10,7 MHz
oscillateur local F_o : 18 Mhz

Fréquence image = $2 \times F_i - F_r = 2 \times 10,7 - 28,7 = -7,3$ (le résultat est négatif, il faut utiliser l'autre formule)

Fréquence image = $F_r - 2 \times F_i = 28,7 - 2 \times 10,7 = 7,3 \text{ MHz}$

Exemple 2

fréquence à recevoir F_r : 144,3 MHz
fréquence intermédiaire F_i : 455 kHz

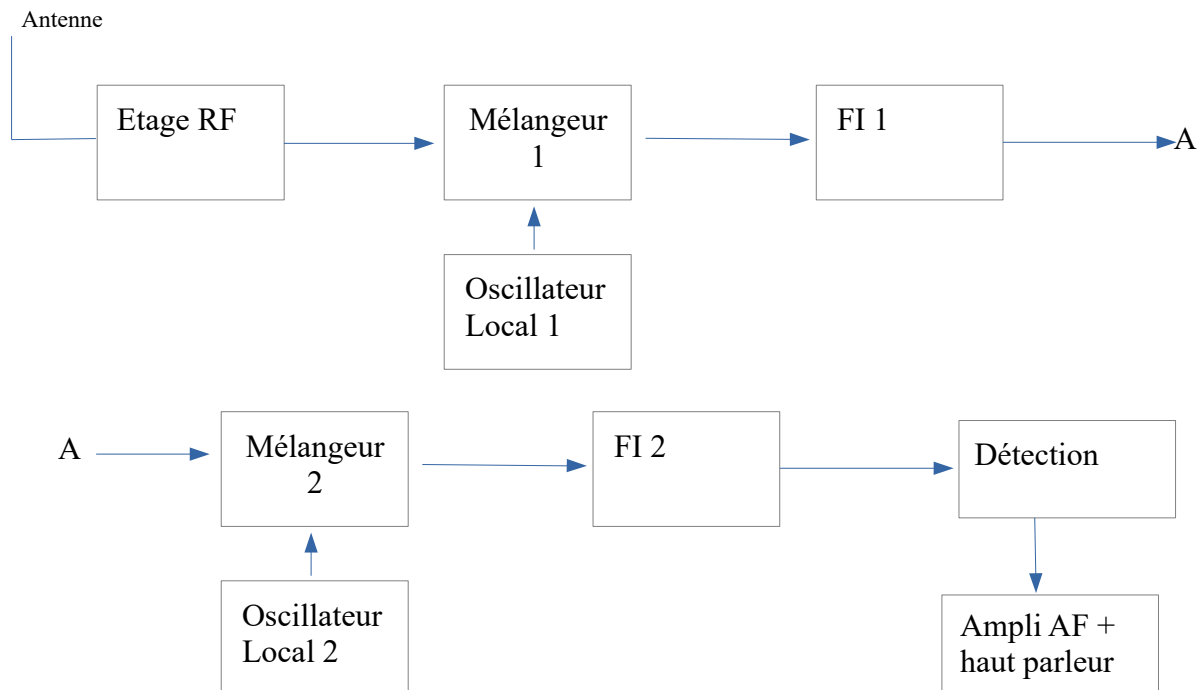
Fréquence image = $2 \times F_i - F_r = 2 \times 0,455 - 144,3 = -143,39$ (le résultat est négatif, il faut utiliser l'autre formule)

Fréquence image = $F_r - 2 \times F_i = 144,3 - 2 \times 0,455 = 143,39$ MHz

La fréquence image est très proche de la fréquence à recevoir et sera difficile à éliminer. Avec une FI à 10,7 MHz, la fréquence image est : $144,3 - 2 \times 10,7 = 122,9$ MHz plus facile à éliminer dans l'étage RF.

4°) Récepteurs à double changement de fréquence

L'emploi d'un premier changement de fréquence avec une FI élevée va permettre de rejeter loin la fréquence image et donc de l'éliminer facilement dans l'étage RF. Pour améliorer la sélectivité on effectue un **second changement de fréquence avec une FI à 455 kHz**, ce qui permet d'utiliser des filtres céramiques à flancs très raides.



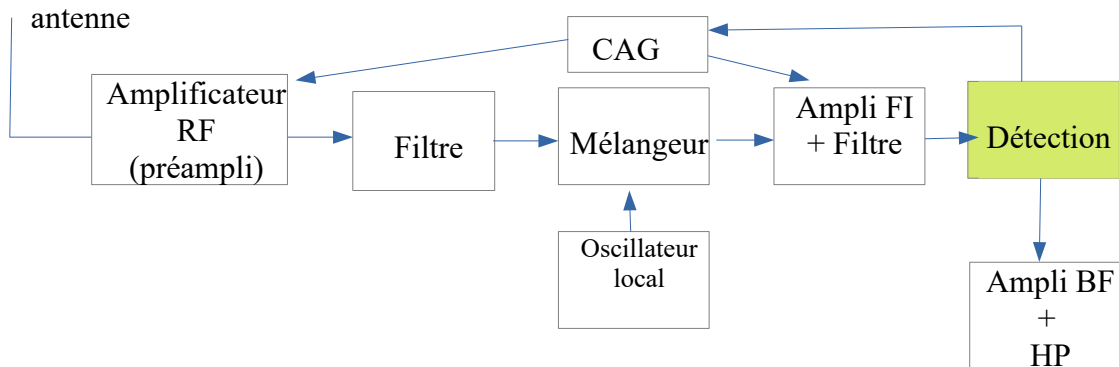
Ce type de récepteur présente une bonne **résistance à la transmodulation**, un signal fort proche de la fréquence ne va pas moduler le signal à recevoir, une bonne **dynamique**, qui correspond à l'écart entre la puissance du plus petit signal détectable et du plus grand.

5°) Démodulation

La **démodulation** sépare le signal utile AF du signal RF. La chaîne de réception est la même pour les différents types de modulation :

antennes ---ampli et filtres RF---changement(s) de fréquence(s)----FI.

Après passage dans l'étage FI, le signal est alors **démodulé** dans l'étage **détection**, **amplifié** dans l'étage AF et dirigé vers le haut-parleur.



La **démodulation** se fait dans l'étage coloré en vert.

a) démodulation de l'AM (A3E)

Voici un schéma très simplifié :



Figure 1 : Signal modulé en amplitude

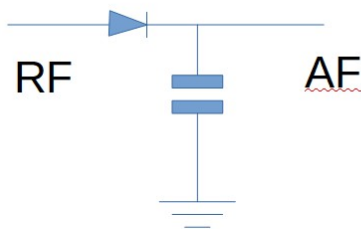


Figure a



Figure b



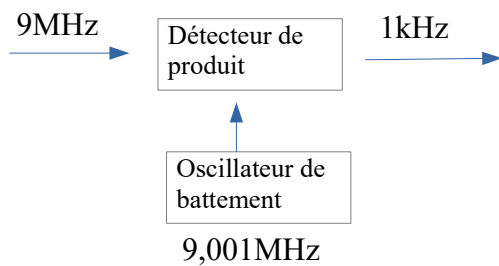
Figure c

Le signal RF modulé en amplitude de la Figure 1 traverse la diode (Figure a) , la partie négative du signal est éliminée (Figure b) .

Le condensateur joue le rôle de filtre passe-bas, les fréquences RF sont éliminées seul le signal AF est transmis (Figure c).

Ce montage est un **détecteur d'enveloppe**.

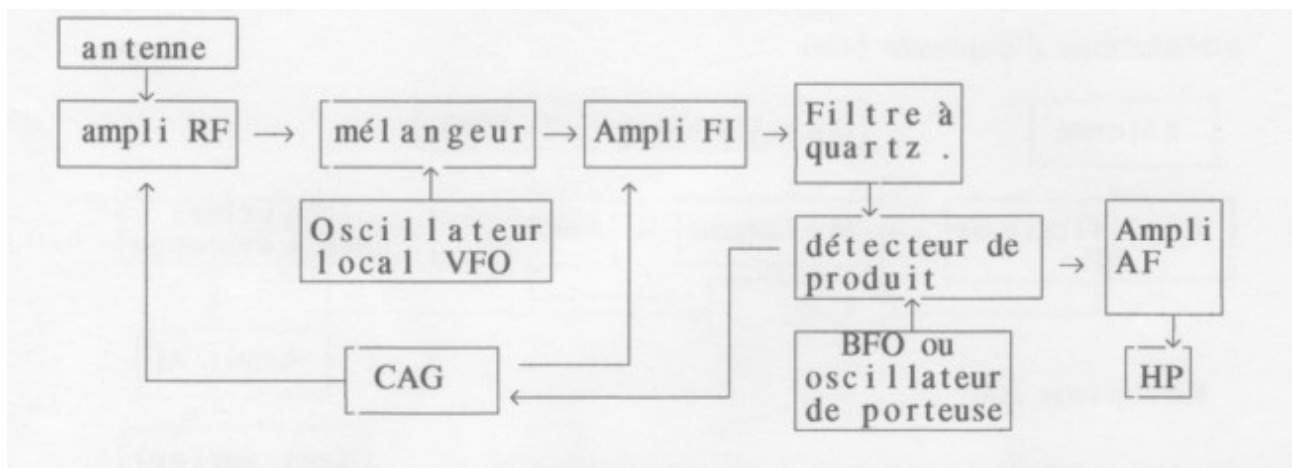
b) Démodulation de la CW (A1A)



Le signal FI de 9MHz par exemple est **mélangé** dans le **détecteur de produit** avec le signal issu de **l'oscillateur de battement, le BFO**, (très stable) de fréquence 9,001 MHz

Les produits du mélange sont : 18,001MHz (9 + 9,001), à éliminer et 9,001 - 9 MHz soit **1kHz, audible**

c) Démodulation de la BLU



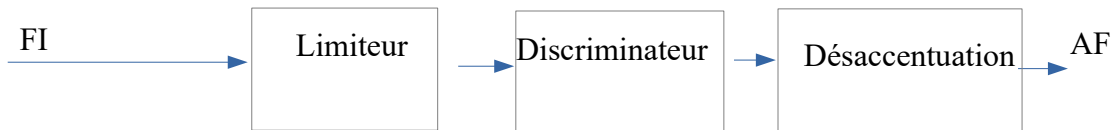
Le montage est commun à tous les récepteurs jusqu'au filtre FI. **Un filtre à quartz**, dont la bande passante est assez étroite (3 kHz environ), à flancs très raides permet :

- de séparer deux émissions proches en fréquences
- de diminuer le **bruit** à la réception (voir **bruit** à la fin de ce chapitre)

La démodulation se fait dans un **détecteur de produit**, celui-ci mélange le signal issu du filtre à quartz avec le signal issu d'un oscillateur, **BFO ou un oscillateur avec deux quartz commutables** (BLI : 9,0015MHz et BLS : 8,9985 MHz). En rajoutant un troisième quartz de 9,001MHz, pour la CW, la fréquence transmise sera de 1kHz.

Remarque : le récepteur ci-dessus est à un seul changement de fréquence. Le second mélangeur (détecteur de produit) réalise la démodulation.

d) Démodulation de la FM (F3E)



Le signal issu de la FI est d'abord écrêté dans un **limiteur**. Il fournit un signal d'amplitude constante. Les parasites qui ont tendance à augmenter l'amplitude du signal seront éliminés dans cet étage. La FM est donc moins sensible aux parasites que l'AM.

La démodulation de la FM se fait au niveau du **discriminateur**. C'est un convertisseur fréquence-tension. La **désaccentuation** permet de reconstituer un signal AF identique au signal modulant. En effet, à l'émission on **accentue** une partie du spectre.

6°) Pour terminer.

Voici un extrait du programme de l'examen :

4. Caractéristiques des récepteurs (description simple uniquement) :

Canal adjacent ;

Sélectivité ;

Sensibilité ;

Stabilité ;

Fréquence-image, fréquences intermédiaires ;

Intermodulation ; transmodulation.

Canal adjacent : Supposons que dans le filtre FI de largeur 3 kHz cohabitent deux signaux CW de largeur 300Hz et que le signal CW qui nous intéresse soit reçu S2 alors que l'autre est S9 (ils sont sur deux **canaux adjacents**). La CAG va réagir et atténuer les deux signaux, ce qui va faire disparaître le signal recherché. La solution est de remplacer le filtre BLU par un filtre CW de largeur 200Hz par exemple.

Sélectivité : capacité de séparer le signal recherché des autres signaux. Elle est déterminée par la largeur de bande des filtres FI.

Par exemple, en, SSB, avec un filtre de 2,4 kHz, la largeur de bande à -6dB est 2,2 kHz et à -60dB elle est de 4,2 kHz

(source : https://www.lomag-man.org/electronique/cours_elecphys_org-radamat_be/HAREC_04.pdf)

Sensibilité : faculté de recevoir des signaux très faibles. Elle s'exprime en dBm ou en microvolts.

Stabilité : capacité de rester sur la fréquence choisie, ne pas dériver en fréquence. Elle s'exprime en ppm (parties par million). Par exemple, sur 3,500 MHz avec une stabilité de 10 ppm, la dérive en fréquence ne dépassera pas $3\,500\,000\text{Hz} \times (10 / 1\,000\,000) = 350\text{ Hz}$

Fréquence image :

fréquence Image = 2 x Fréquence intermédiaire – fréquence à recevoir

ou

Fréquence Image = fréquence à recevoir - 2 x Fréquence intermédiaire

Intermodulation : elle résulte des produits du mélange de deux signaux (harmoniques, produits du second, troisième ordre).

Transmodulation : un signal fort proche de la fréquence à recevoir ne doit pas moduler le signal recherché.

Squelch (silencieux): dispositif permettant de supprimer le signal audio quand le signal à recevoir est trop faible, noyé dans le bruit.

Bruit : L'origine du bruit en récepteur est **externe** au récepteur (parasites industriels, atmosphériques, solaire) mais aussi **interne**, les composants électroniques génèrent du bruit, qui augmente avec la température.

En HF, le bruit généré par le récepteur est généralement inférieur au bruit généré par le récepteur lui-même, ce n'est pas le cas en VHF où il faut limiter ce bruit au maximum.

Le premier étage HF amplifie en même temps le signal, mais aussi le bruit. La sensibilité d'un récepteur est donc liée au **rapport Signal/Bruit**.

Pour une meilleure sensibilité, il faut

- réduire au maximum les sources de bruit interne (transistors faible bruit par exemple)

- installer tout préamplificateur au ras de l'antenne, ainsi, il n'amplifiera pas le bruit généré par le câble coaxial.

- limiter la bande passante au strict nécessaire

Les récepteurs possèdent entre autres :

un décalage de la fréquence centrale FI : IFSHIFT

une bande passante FI variable

un Noise Blanker

un filtre Notch, coupe bande, très étroit qui élimine une fréquence fixe (porteuse par exemple)

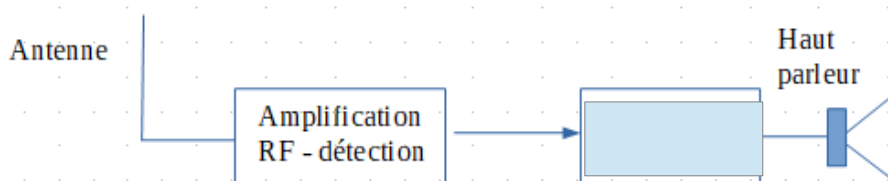
Dynamique : mesure l'écart entre le signal le plus faible et le signal le plus puissant que le récepteur est capable de démoduler.

RF : radiofréquences ($f > 100$ kHz environ)

AF ou BF : audiofréquences ($f < 20$ kHz) ce sont les fréquences de signaux audibles.

Questionnaire n°24

Question 1a



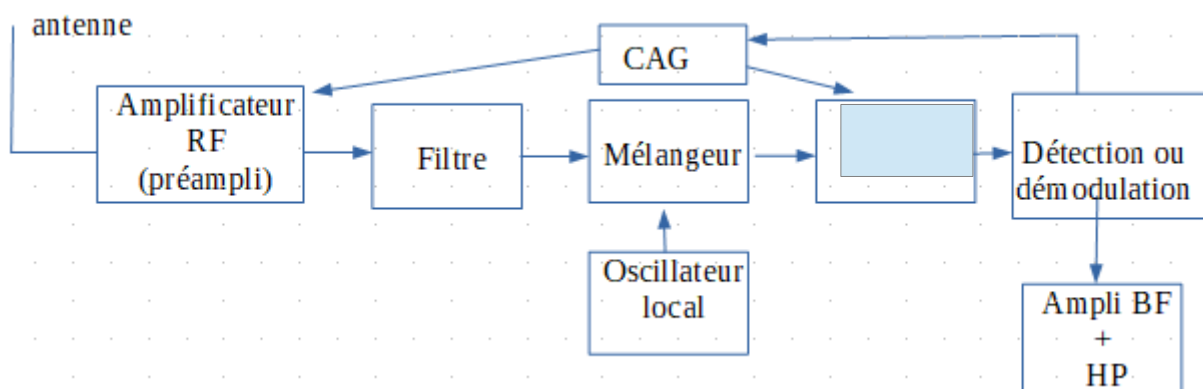
Ce récepteur est A : à conversion directe B : superhétérodyne
 C : simple changement de fréquence
 D : double changement de fréquence

Question 1b : L'élément manquant est

A : le modulateur B : l'oscillateur local
 C : l'amplificateur AF D : le filtre FI

Question 1c : ce type de récepteur est très sensible : Vrai ? Faux ?
 Est très sélectif : vrai ? Faux ?

Question 2a



Ce récepteur est :

1 : à conversion directe 2 : superhétérodyne
 3 : simple changement de fréquence
 4 : double changement de fréquence

Bonnes réponses : A : 1 - 2 B : 2 - 3 C : 2 - 4 D : 1 - 3

Question 2b

L'élément manquant est : A : le discriminateur B : le détecteur de produit
 C : le filtre AF D : l'étage FI

Question 3b

La fréquence à recevoir est 21,2 MHz, l'oscillateur local est réglé sur 12,2 Mhz.
 A la sortie du mélangeur, la fréquence intermédiaire est :

A : 455 kHz B : 9 MHz C : 10,7 MHz D : 40 Mhz

Question 3c : La fréquence à recevoir est 21,2MHz, l'oscillateur local est réglé sur 12,2 Mhz. A la sortie du mélangeur on peut trouver les produits suivants :
33,4 MHz Vrai ? Faux ?
9 MHz B=Vrai ? Faux ?
Ce produit du troisième ordre : 54,6 MHz Vrai ? Faux ?

Question 3d : Le démodulateur est un détecteur d'enveloppe, ce type de récepteur détecte :
A : de l'USB B : LSB C : FM D : AM

Question 3e : si le démodulateur contient un discriminateur, ce type de récepteur détecte :
A : de l'USB B : LSB C : FM D : AM

Question 3f : si le démodulateur contient un détecteur de produit, ce type de récepteur détecte de la :
A : BLU B : FSK C : FM D : AM

Question 3g : Dans un récepteur, la fréquence à recevoir est 144,05 Mhz, la fréquence intermédiaire est 10,7 MHz, la fréquence image est :
A : 122,65MHz B : 154,75MHz C : 133,35MHz D : 10,7 MHz

Question 3h :
L'oscillateur local contient des diodes varicap, c'est :
A : un VCO B : un modulateur C : un limiteur D : un quartz

Question 4 : un récepteur à double changement de fréquence contient :
A : Deux amplificateurs RF B : Deux étages FI C : Deux hauts parleurs
D : deux oscillateurs locaux.

Question 5 : Un récepteur sépare bien deux signaux très proches l'un de l'autre, il est très :
A : sensible B : sélectif C : stable D : intermodulant

Question 7 : Dans un récepteur, elle résulte des nombreux produits issus du mélangeur, c'est :
A : l'intermodulation B : la transmodulation C : la démodulation D :
désaccentuation

Question 8 : Dans un récepteur, si le signal à recevoir est modulé par un signal très puissant proche, ce phénomène est appelé :
A : l'intermodulation B : la transmodulation C : la démodulation D :
désaccentuation

Question 9 : la bande latérale inférieure est symbolisée par :
A : BLS B : USB C : LSB D : BLI

Question 10 : afin d'obtenir sur le haut parleur des signaux ayant tous plus ou moins la même intensité, l'étage qui intervient est :

A : la CAG B : l'oscillateur local C : l'ampli AF D : le gain d'antenne