

**INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES  
TECHNOLOGIQUES EN COMMUNICATION DE  
TUNIS**

**Projet de fin d'études**

**RECEPTEUR FM STEREOPHONIQUE**

**Réalisé par :**

HADRAOUI Walid

JAROU Anis

**Encadrés par :**

MANSOURI Monji

AOUADI Mohamed

---

**2000-2001**

**2000-2001**

## **DEDICACE**

📖 **R** mes chers parents pour tous les sacrifices qu'ils ont donnés.

📖 **R** mes frères Samir & Mohamed pour les encouragements qu'ils m'ont apporté.

📖 **R** mes sœurs pour le soutien moral qu'elles m'ont offertes.

📖 **R** tous mes professeurs sans qui ce travail n'aurait pu être élaboré.

📖 **R** tous mes amis sincères.

📖 dédie ce mémoire.

Que cet ouvrage soit la preuve de mon immense reconnaissance envers eux.

**WALID**

---

## DEDICACE

📖 **R** mes chers parents grâce à qui j'ai pu conduire à terme mes études.

📖 **R** mes frères et sœurs pour les encouragements qu'ils m'ont apporté.

📖 **R** tous mes amis qui n'ont jamais cessés de me soutenir et de m'encourager durant mes études.

📖 **R** mes professeurs sans qui ce travail n'aurait pu être élaboré.

J'offre ce mémoire.

**ANIS**

---

## REMERCIEMENT

C'est avec un grand plaisir que nous réservons cette page en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce modeste travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos encadreurs Mr.Mansouri Mongi & Mr.Aouadi Mohamed, Pour leur dévouement et leur patience, malgré le volume de travail dont ils ont la charge. Et pour toutes les portes qu'ils nous ont ouvertes et nous ont permis de mener à bien notre projet de fin d'étude.

Il nous appartient de rendre un sincère hommage à nos professeurs et les personnels de notre institut pour l'appui à la fois critique et constructives qu'ils nous ont offertes et qu'ils n'ont cessé de nous protéger durant l'élaboration de ce projet.

Il est indispensable de ne pas rater cette occasion pour remercier tous les membres de jury. Nous leur demandons de nous excuser pour ce qui a pu glisser dans ce modeste travail comme erreurs de rédaction ou de frappe.

# SOMMAIRE

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Cahier de charge.....</b>	<b>2</b>
<b>Etude théorique : .....</b>	<b>3</b>

## **Chapitre1 : La modulation.....4**

I- Introduction : .....	4
II- Transformation électroacoustique : .....	4
III- Modulation : .....	4
III-1- Modulation d'amplitude : .....	5
III-1-1- Modulation d'amplitude avec porteuse :.....	5
III-1-2- Modulation d'amplitude à porteuse supprimée : .....	6
III-2- Modulation de fréquence (FM) : .....	7
III-3- Règle de CARSON : .....	9
IV- Avantage de FM/AM : .....	9
V- Emission – réception : .....	10.

## **Chapitre2 : La réception radio.....11**

I- Bandes des fréquences utilisées : .....	11
II- Rôle du récepteur : .....	11
III- Structure générale d'un récepteur FM : .....	12
III-1- Le tuner : .....	13
III-2- Amplificateur à fréquence intermédiaire : .....	13
III-3- Démodulateur en fréquence modulée : .....	14
III-3-1- Le discriminateur : .....	14
III-3-2 La démodulation par BVP : .....	16
III-4- Les circuits accordés : .....	16
III-5- Amplificateur BF : .....	17

IV-	Adaptation d'impédance dans les circuits HF :	17
V-	Les circuits LC dans les récepteurs superhétérodynes :	18
VI-	Utilisation des composants passifs en hautes fréquences :	18

### **Chapitre3 : Les récepteurs FM stéréophoniques : .....19**

I-	Introduction :	19
II-	Caractéristiques principales d'un récepteur :	19
II-1-	La sensibilité :	19
II-2-	La sélectivité :	19
II-3-	La syntonisation :	20
II-4-	La stabilité :	20
II-5-	La dynamique :	20
III-	Récepteur superhétérodynes :	20
IV-	Caractéristiques du son :	23
IV-1-	Son mono :	23
IV-2-	Son stéréo :	23
IV-3-	La compatibilité :	24
V-	La transmission stéréophonique multiplex :	24
VI-	Décodeur stéréophonique :	29
VI-1-	Décodage par sommation :	30
VI-2-	Décodage par échantillonnage :	31

## **INTRODUCTION GENERALE**

La transmission des émissions radio stéréophoniques est une évolution technique permettant à tout auditeur, à domicile, d'avoir une impression visuelle d'une audition directe d'un orchestre ou autres...

Elle utilise, la modulation de fréquence qui présente une meilleure qualité sonore, une meilleure fidélité et une insensibilité aux parasites divers qui perturbent souvent la modulation d'amplitude . Ce type de modulation utilise aussi un système de transmission stéréophonique dit à « fréquence pilote » :Multiplex.

Le signal multiplex, qui module un émetteur FM de radiodiffusion, assure la compatibilité avec les récepteurs monophoniques existant, mais pour que ceux-ci reçoivent en stéréo, ils doivent être équipés d'un décodeur stéréophonique d'où l'appellation de récepteur stéréophonique : objet de notre projet.

Ce projet porte donc sur l'étude et la réalisation d'un récepteur stéréophonique fonctionnant dans la bande VHF (sous-bande : bande II)

## **Cahier de charge**

Dans le cadre de ce projet nous sommes chargés d'étudier la réception stéréophonique en modulation de fréquence. La maîtrise d'électronique et de la radiophonie était l'objectif principale, ainsi que les techniques de la modulation.

L'idée du notre projet consiste à concevoir et à réaliser un récepteur FM stéréophonique permettant de détecter les signaux modulés en fréquence dans la bande VHF (bande II : 88 à 108 MHz) avec une haute fidélité.



# **Etude théorique**

# *LA MODULATION*

## **I - INTRODUCTION**

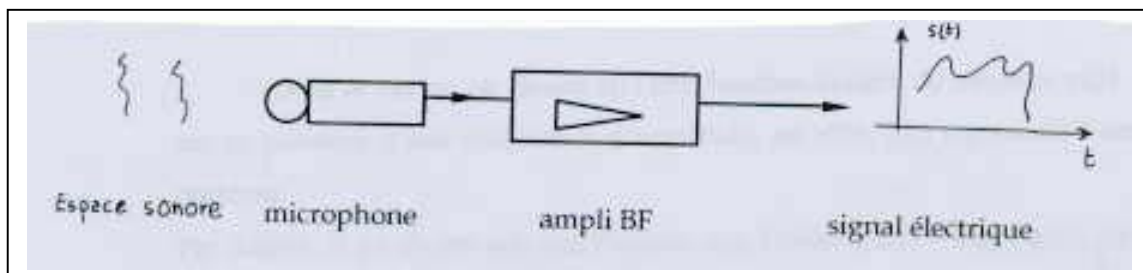
En Radiodiffusion, pour transmettre, à grande distance, une onde sonore en espace libre, il est absolument nécessaire de faire subir au signal acoustique, objet du message à transmettre, quelques transformations.

Ces transformations consistent essentiellement à l'application du message à un transducteur électroacoustique puis transposer, par un modulateur, son spectre autour d'une fréquence porteuse pour l'adapter au canal de transmission en question.

## **II - TRANSFORMATION ELECTROACOUSTIQUE**

Le son se présente sous sa forme physique (vibrations de la pression de l'air); la bande de fréquence de son spectre sonore ou audible s'étend en moyenne de 15Hz à 15kHz. Sous cette forme, il est inadapté à la transmission à grande distance.

Il importe donc, avant toute chose, de transformer cette grandeur acoustique en un signal électrique rôle assuré par un microphone. Le signal électrique, ainsi créé, sera de fréquence et d'amplitude correspondantes à celles de l'onde sonore, en effet, un transducteur dans le cas général, est un système liant les grandeurs linéairement.



### III - MODULATEUR

L'opération assurée par le modulateur est une action par le message à transmettre ( $m(t)$ ) sur un des paramètres de la porteuse  $p(t)$ .

$$p(t) = \text{Re} \{ a(t) \cdot \exp j(\omega_0 t + \varphi_0) \}$$

Dans le cas où on choisit  $a(t)$  une fonction linéaire du message  $m(t)$ , on dit qu'on est en présence d'une modulation d'amplitude, en effet,  $a(t)$  représente l'amplitude de la porteuse.

Par dualité, si on choisit  $a(t)$  une fonction non linéaire  $\{ a(t) = \exp j(\varphi(t)) \}$ ,  $\varphi(t) = k_f m(t)$ ,  $p(t) = 2 k_f m(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ . On dit qu'on est en présence d'un modulateur angulaire (respectivement de phase et de fréquence).

## 3.1 - Modulation d'amplitude (AM)

Elle se distingue par les variations de l'amplitude de la porteuse à haute fréquence, en fonction de l'amplitude du signal modulant.

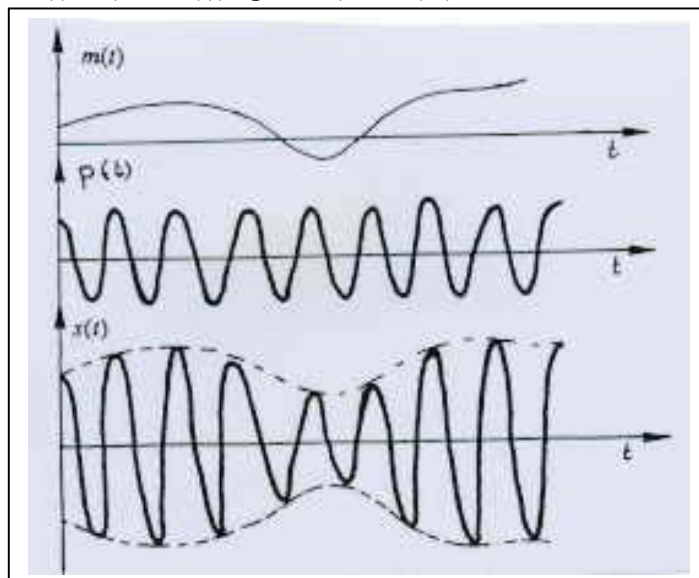
### a) Modulation d'amplitude avec porteuse

soient  $m(t)$  signal modulant

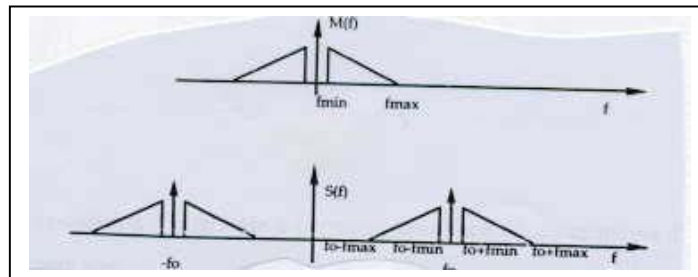
$$p(t) = V_p \cos(\omega_0 t + \varphi_0) : \text{porteuse HF}$$

avec  $\omega_0$  pulsation de la porteuse

$$\rightarrow s(t) = (1 + k_m m(t)) V_p \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$



L'expression du spectre de  $s(t)$ :  $S(f) = V_p/2 [\delta(f-f_0) + \delta(f+f_0)] + kV_p/2 [M(f-f_0) + M(f+f_0)]$

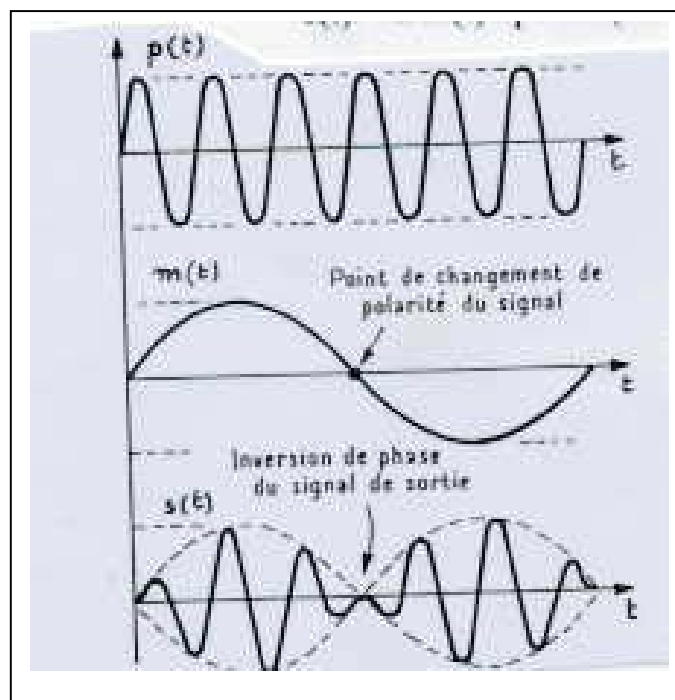


La modulation d'amplitude est en fait une simple translation du spectre de  $m(t)$  autour de la fréquence porteuse  $f_0$  et dont la largeur du canal ( $B$ ) est 2 fois la fréquence maximale du signal modulant.

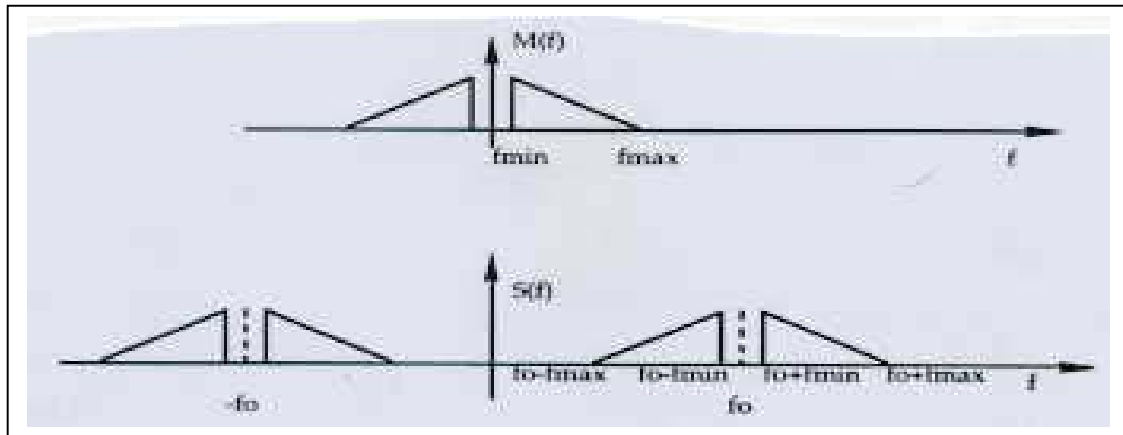
$$B = 2F_{\max}$$

b) Modulation d'amplitude à porteuse supprimée

$$s(t) = k m(t) V_p \cos(\omega_0 t + \phi_0)$$



L'expression du spectre de  $s(t)$  est :  $S(f) = M(f) * V_p/2 [\delta(f-f_0) + \delta(f+f_0)]$



La modulation d'amplitude à porteuse supprimée nécessite moins d'énergie que celle avec porteuse.

## 3.2 - MODULATION DE FREQUENCE (FM)

Elle consiste à faire varier la fréquence de la porteuse au rythme de l'amplitude du signal modulant.

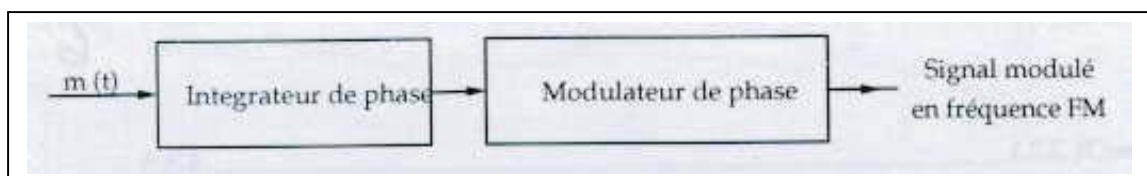
$s(t) = V_p \cos(2\pi f_0 t + \phi(t))$  (le signal modulé); où  $\phi(t)$  dépend du message  $m(t)$ .

Phase instantanée:  $\Phi_i(t) = 2\pi f_0 t + \phi(t)$

Fréquence instantanée :  $F_i(t) = 1/2 \pi d\Phi_i(t)/dt$   
 $= f_0 + 1/2 \pi d(\phi(t))/dt$   
 $= f_0 + k_f m(t)$

→  $\Phi_i(t) = 2\pi (f_0 t + k_f \int_0^t m(u) du)$

d'où  $s(t) = V_p \cos(2\pi f_0 t + k_f \int_0^t m(u) du)$



**Exemple : m(t) sinusoïdal:**

$$m(t) = V_m \cos \Omega t,$$

on pose  $\Delta\omega = kV_m$

La pulsation instantanée  $\omega = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t$

$$\text{La phase instantanée: } \Phi(t) = \int_0^t \omega dt = \omega_0 t + \Delta\omega / \Omega \sin \Omega t$$

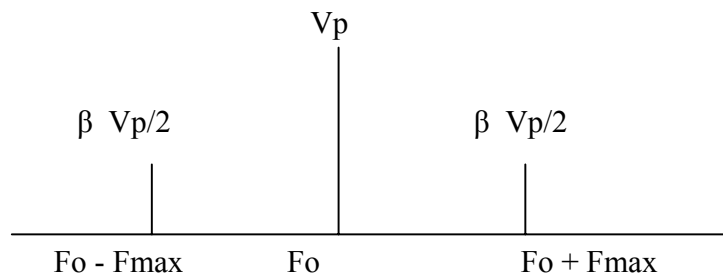
avec  $\Delta\omega / \Omega = \beta$  c'est l'indice de la modulation de fréquence

$$\rightarrow s(t) = V_p \cos(\omega_0 t + \beta \sin \Omega t)$$

▪ FM à bande étroite :  $\beta \ll 1$

par approximation:

$$s(t) = V_p \cos \omega_0 t + \beta V_p / 2 [\cos(\omega_0 + \Omega)t - \cos(\omega_0 - \Omega)t]$$

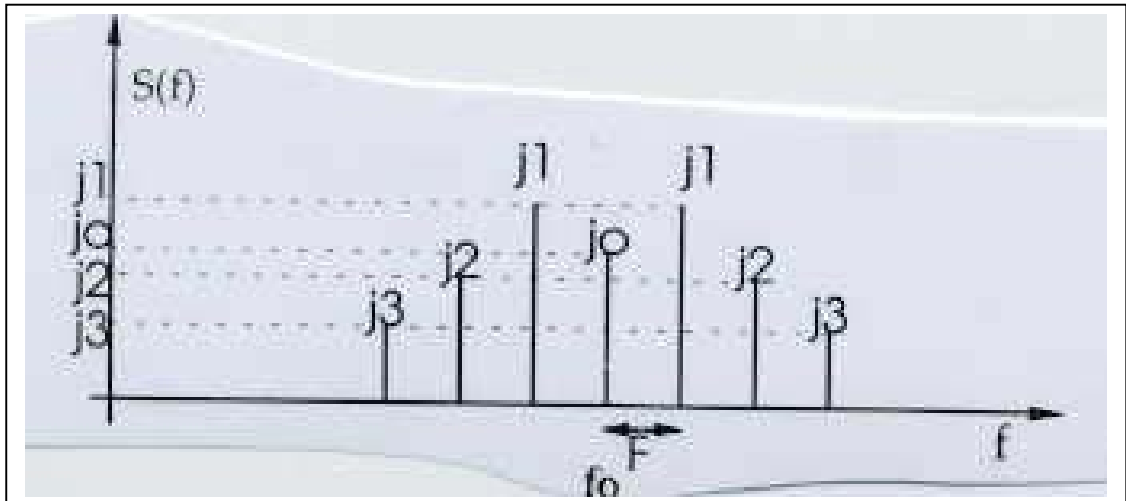


▪ FM à large bande :  $\beta \gg 1$  (fort indice)

$$s(t) = V_p \cos(\omega_0 t + \beta \sin \Omega t)$$

Dans ce cas, on ne peut pas faire d'approximation. En utilisant les fonctions de Bessel, l'expression de  $s(t)$  devient:

$$s(t) = \sum_{p=1}^{\infty} J_{2p}(\beta) [\cos(\omega_0 + 2p \Omega)t + \cos(\omega_0 - 2p \Omega)t] + \sum_{p=1}^{\infty} J_{(2p-1)}(\beta) [\cos(\omega_0 + (2p-1) \Omega)t - \cos(\omega_0 - (2p-1) \Omega)t]$$



On a un spectre de raies symétriques par rapport à  $f_0$ . Les raies sont distantes de  $F$  à une fréquence  $f_0 \pm kf$  ayant une amplitude  $j_k(\beta)$ .

### 3.3 - Règle du CARSON

La transmission du signal nécessite ainsi une plage de fréquence de largeur:

$$B = 2(\Delta f + F_{\max})$$

$\Delta f$  = l'excursion de fréquences

$F_{\max}$  = la fréquence maximale du signal modulant

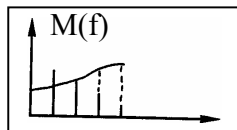
En pratique les stations FM ont droit à une déviation maximale de fréquence  $\Delta f = 75$  kHz . Chaque station encombre alors une plage de fréquence de l'ordre de 200 kHz ce qui justifie que la fréquence d'émission soit élevée (de l'ordre de 100 MHz).

#### IV - AVANTAGES DE FM/AM

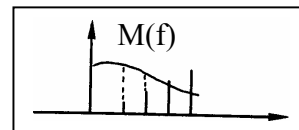
La FM présente par rapport à la AM de nombreux avantages:

- Résistance aux bruits : les bruits affectent généralement l'amplitude du signal, or en FM, le signal modulant se traduit par des variations de fréquences qui sont insensibles aux bruits.

Mais réellement, les composantes hautes fréquences du spectre du message à transmettre, sont d'amplitudes faibles, elles peuvent être perturbées par les bruits. Pour améliorer le rapport signal sur bruit (S/B) on les accentue à l'émission (avant modulation) et on les désaccentue à la réception (après démodulation).



A l'émission



A la réception

- Une puissance constante: quelque soit le message, la puissance du signal modulé en fréquence reste constante.
- Résistance aux non-linéarités : vu la constance de son enveloppe, la FM présente une bonne résistance aux défauts de la non-linéarité du canal de transmission.  
C'est pourquoi, la FM est choisie comme support de transmission en Radiodiffusion sonore haute fidélité (HI-FI).

## V - EMISSION -RECEPTION

Les oscillations HF, ainsi créées attaquent une antenne émettrice qui, alimentée en énergie haute fréquence, rayonne cette énergie sous forme d'ondes électromagnétiques susceptibles de se propager en espace libre.

Une antenne réceptrice, située dans la zone de rayonnement, capte ces ondes électromagnétiques et les transforme en courant électrique, lequel sera, par la suite, détecté pour avoir à la fin notre message émis : rôle assuré par le récepteur.



# La réception radio

## I - Bandes des fréquences utilisées :

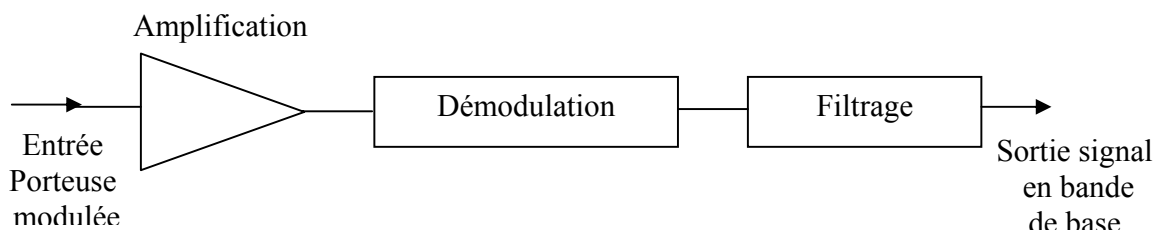
La bande utilisée est de 88 à 108 MHz, elle est réservée aux émissions de radio diffusion en modulation de fréquence. Dans cette bande, les canaux ont une largeur de 200 ou 300 KHz. Les fréquences d'émission sont toutes de multiple de 100 KHz. Les canaux sont bien plus étroits (2,5, 5 ou 15 KHz) et, comme la portée des émetteurs est faible à ces fréquences, les attributions des bandes diffèrent d'un pays à l'autre.

## II - Rôle du récepteur

Le récepteur reçoit une fraction de la porteuse modulée émise en présence de bruit et de multiples autres signaux de puissance et de fréquences diverses et inconnues. Ceci se conçoit particulièrement bien en examinant le cas de la bande de fréquence 88 à 108 MHz.

Le rôle fondamental du récepteur est de démoduler la porteuse et de restituer le signal modulant original. L'émetteur étant distant du récepteur, dans un cas contraire, la modulation ne s'impose pas, le signal à la fréquence porteuse devra préalablement être amplifié.

Le synoptique du récepteur serait alors celui de la figure suivante et se limiterait à une chaîne d'amplification, de démodulation et de filtrage. Une analyse rapide de la situation montre que le synoptique de la figure suivante est difficilement applicable, hormis certains cas d'espèce. Il ne peut donc servir de modèle ou de structure type de récepteur.



**Synoptique du récepteur «idéal».**

L'amplificateur d'entrée reçoit à la fois le signal utile et les signaux parasites. Si l'on se place dans le pire des cas l'amplitude du signal utile sera faible devant celle des signaux indésirables. Or, on sait que dans la plupart des cas, la tension de sortie démodulée est proportionnelle à l'amplitude de la porteuse. En sortie de l'amplificateur, le niveau de porteuse devrait être constant. Cet amplificateur devrait donc avoir un gain variable et contrôlé de manière à ce que sa tension de sortie soit constante.

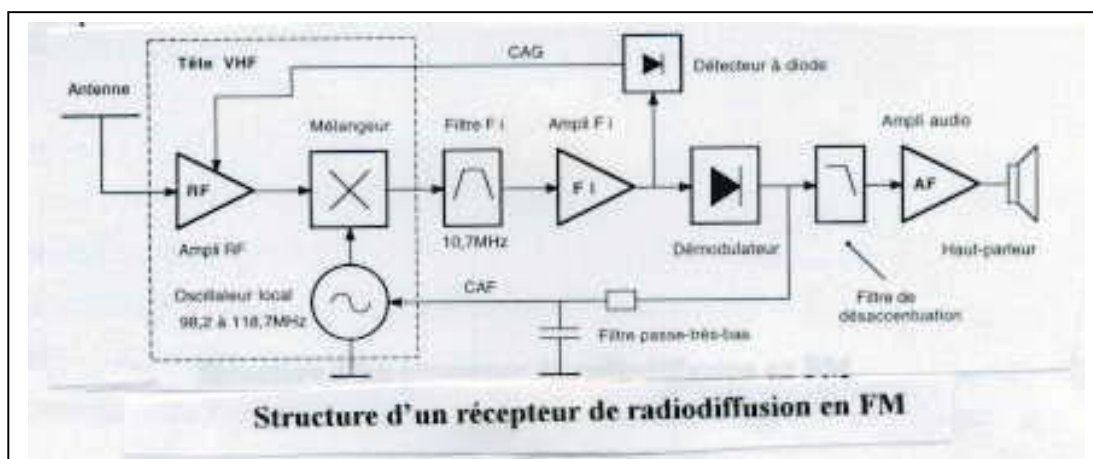
### III - Structure générale d'un récepteur FM.

Les récepteurs de radio diffusion en FM utilisent généralement la structure superhétérodyne (voir figure) :

Les antennes sont de types dipôle, dipôle replié ou yagi ; elles ont une faible sélectivité ; une même antenne peut donc parfaitement couvrir toute la bande attribuée à la radio diffusion. L'ensemble des circuits hautes fréquences ( amplificateur RF, oscillateur local et mélangeur) est nommé tuner, ce bloc est responsable de la sélection du signal désiré et de la réjection de la fréquence image. Le bloc amplificateur et filtre, à la fréquence intermédiaire comporte plusieurs étages. Il est responsable de la sélectivité du récepteur ; comme la largeur des canaux est plus grande qu'en modulation AM la fréquence intermédiaire a aussi été choisie plus élevée ; la valeur classique est de 10,7 MHz. Il y a une limitation de signal en niveau de l'amplificateur Fi.

On peut expliquer la meilleure qualité de la réception en modulation de fréquence par rapport à la modulation AM par les facteurs suivants :

- les parasites divers d'origine interne au récepteur modifient généralement l'amplitude du signal reçu.
- en écrêtant efficacement le signal au niveau de l'amplificateur on se débarrasse de la plupart des parasites.



## **IV - Le tuner :**

Le tuner comporte donc l'ensemble des circuits haute fréquence :

Amplificateur RF, oscillation local et mélangeur ; ces trois circuits sont souvent montés sur un circuit imprimé séparé du reste du récepteur et soigneusement blindé.

- un amplificateur RF est pratiquement toujours utilisé, car il est caractérisé par un faible facteur de bruit ; ceci est important puisque, dans les bandes VHF et au-delà, c'est le bruit interne du récepteur qui est dominant. Pour ces raisons, les têtes VHF (tuner) sont encore souvent réalisées avec des transistors discrets, ceux-ci ayant un facteur de bruit plus faible que les transistors intégrés.
- le mélangeur a une structure classique ; additif ou multiplicatif ; ici aussi, on emploie souvent des transistors bipolaires. A sa sortie on trouve un transformateur accordé sur la fréquence intermédiaire ; ce transformateur constitue un filtre passe-bande qui rejette les composantes indésirables sortant du mélangeur.
- l'oscillateur local à fréquence variable est souvent de type colpitts, à transistors bipolaires ou à Fet, on trouve généralement une diode à capacité variable couplée au circuit accordé de l'oscillateur.

## **V – Amplificateur à la fréquence intermédiaire :**

Il doit répondre à plusieurs critères :

- son gain doit être suffisamment élevé, en effet l'amplitude du signal modulé à la sortie du tuner est de l'ordre de quelques dizaines de micro-volts, ou le signal nécessaire à l'entrée de détecteur FM est de l'ordre du volt ; ceci suppose en général 3 ou 4 étages d'amplification.
- la largeur de bande de l'amplificateur détermine la sélectivité du récepteur
- Une largeur de bande trop élevée donne une mauvaise sélectivité et un facteur de bruit accru
- Une largeur de bande très faible provoque des distorsions dans le signal

Les solutions adoptées sont classiques :

- Etages à transistors couplés par circuit accordés pour les faibles largeurs de bandes.

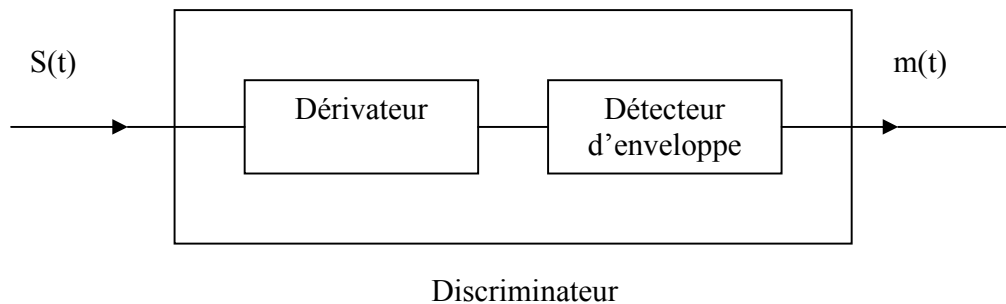
- Filtres de bandes pour les largeurs de bande plus important.
- Amplificateur intégré large bande, précédé par des filtres céramique.
- Une dernière caractéristique de l'amplificateur Fi est sa capacité d'éliminer les modulations d'amplitude parasites.

## VI - Démodulateurs en fréquence modulée :

Le démodulateur a un rôle complémentaire au modulateur ; il reçoit un signal modulé et doit restituer le signal modulant original le premier circuit démodulateur donnant de bons résultats en fréquence modulée fut le discriminateur ; mais il fut bientôt remplacé par le boucle de verrouillage de phase :

### 6.1 - le discriminateur :

L'idée est basée sur la transformation des variations de fréquences du signal FM en variations d'amplitudes puis la détection de l'enveloppe



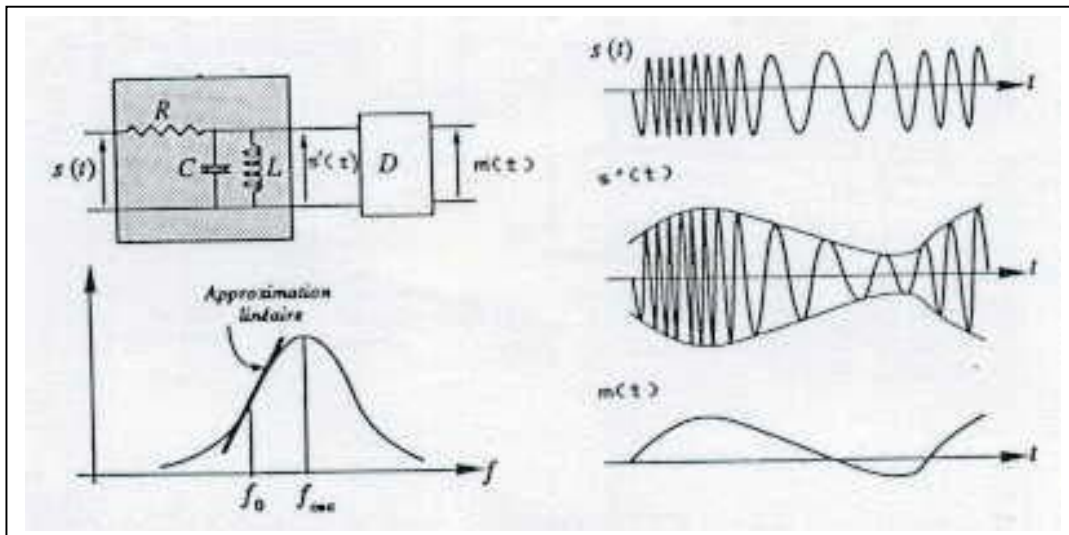
$$S(t) = V_p \cos(\omega_0 t + \varphi(t)) \text{ avec } \varphi(t) = 2\pi K_f \int_0^t m(u) du$$

$$\begin{aligned} S'(t) = \frac{ds(t)}{dt} &= -V_p (\omega_0 t + \varphi'(t)) \sin(\omega_0 t + \varphi(t)) \\ &= -V_p (\omega_0 t + km(t)) \sin(\omega_0 t + \varphi(t)) \end{aligned}$$

On constaté que  $S'(t)$  est encore un signal modulé en fréquence mais que son enveloppe est une fonction linéaire du signal modulant  $m(t)$ .

- pour détecter le signal modulant, il suffit donc de détecter l'enveloppe de  $S'(t)$ .

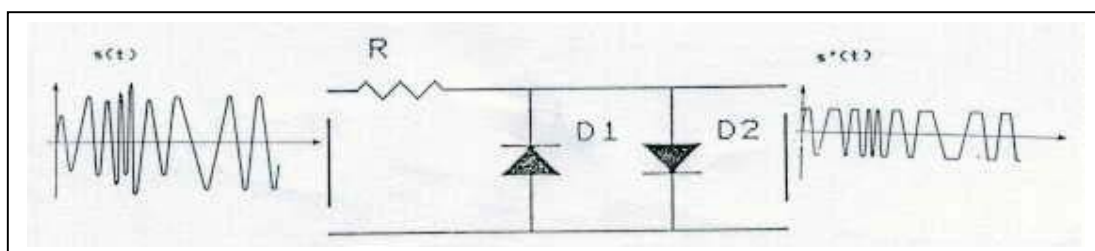
- pour effectuer la dérivation, on utilise, en pratique, la pente de la fonction de transfert d'un circuit résonnant.



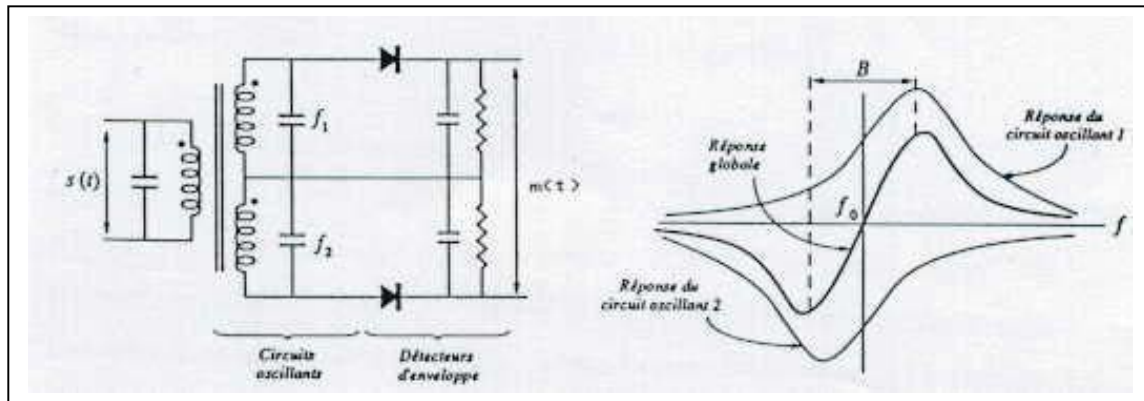
Cette méthode de démodulation présente deux inconvénients

- sensibilité aux variations d'amplitude parasites du signal BF
- la plage de linéarité est trop réduite.

Pour résoudre le premier problème, on procède le discriminateur d'un « limiteur ». Ceci est possible car l'amplitude du signal FM ne comporte pas le message.



Le deuxième problème sera résolu si on utilise deux circuits résonnants. « tête-bêche » pour élargir la zone de la linéaire.

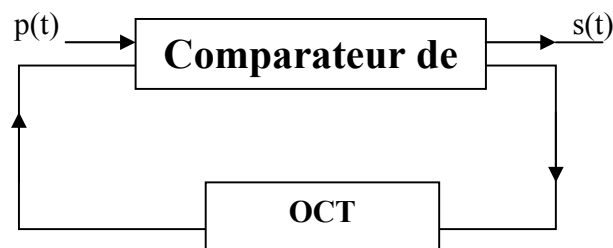


## 6.2 - la démodulation par BVP :

C'est un système « bouche constitué d'un comparateur de phase et d'un oscillateur commandé en tension (OCT) :

$$p(t) = V_p \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t))$$

$$p_{osc}(t) = V_p \cos(2\pi f_0 t + 2\pi K_0 \int_0^t s(u) du)$$



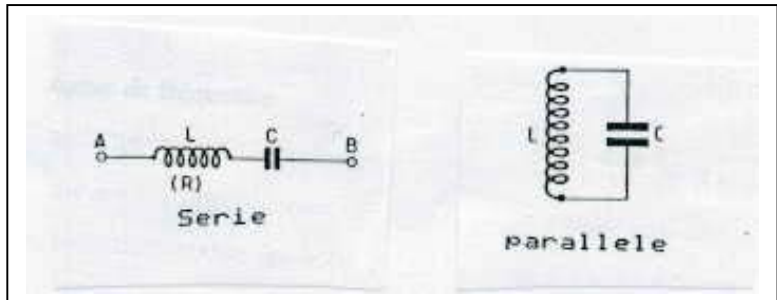
Le comparateur de phase, recevant d'une part le signal à démoduler d'autre part le signal de l'OCT, délivre une tension proportionnelle à la différence de phase entre ces deux signaux. Cette tension n'est que le signal modulant.

## VII - Les circuits accordés :

L'antenne de réception est induite par les champs électromagnétiques de tous les émetteurs susceptibles d'être reçus au lieu considéré. Il est nécessaire d'opérer un tri pour ne conserver que la fréquence de l'émetteur désiré et rejeter les autres. Le circuit en question est de type LC, il peut être série ou parallèle.

A la résonance on a.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



l'expression de la fréquence de résonance est en fonction de L et C pour s'accorder alors, sur le canal désiré on va agir sur la capacité ou l'inductance.

## VIII - Amplificateur BF :

L'étage de sortie du récepteur est constitué par l'amplificateur BF qui fournit la puissance nécessaire à la commande des haut-parleurs les amplificateurs BF, pour les récepteurs stéréophoniques sont doubles et indépendants dont on doit tenir compte de la différence entre les canaux et la diaphonie.

## IX- Adaptation d'impédance dans les circuits HF :

Dans le circuit de basse fréquences, la plupart des amplificateurs sont des amplificateurs de tension, seul le transfert d'un maximum de tension est recherché ; il s'obtient lorsque l'impédance de charge est beaucoup plus grande que l'impédance de source.

Mais pour les circuits HF sont quelque peu différents. Ici, les amplificateurs sont généralement définis en termes de puissance, dans la plupart des cas, un système de circuits HF possèdera une impédance bien définie. Exemple 75  $\Omega$  ( notre cas ). Et tous les éléments du système seront supposés posséder la même impédance. A l'opposé du modèle de l'amplificateur

BF qui possède une forte impédance d'entrée et une faible impédance de sortie. La désadaptation des impédances ne peut amener que des difficultés, sans parler des pertes de signal.

Lorsque le but recherché est le transfert du maximum de puissance ;il faut absolument que l'impédance de charge soit égale à l'impédance de source. Voilà pourquoi les circuits HF sont souvent munis de transformateurs d'impédance pour atteindre cet objectif à chaque niveau d'interconnexion

## **X - Caractéristiques des circuits passifs en HF :**

Les appareils radio font appel à des circuits résonnants pour sélectionner un signal parmi la multitude de signaux captés par l'antenne.

A un premier jour de la radio, il n'y avait qu'un seul circuit accordé, constitué d'une antenne - cadre et d'un condensateur variable. Les émetteurs étaient rares et cela suffisait. Puis le nombre d'émetteurs a augmenté et il a fallu améliorer la sélectivité de la réception. On a alors installé plusieurs circuits accordés, tous réglés sur la fréquence à recevoir.

Les réseaux LC que l'on retrouve dans un récepteur superhétérodyne peuvent se classer en trois catégories. La première catégorie, qui doit répondre aux critères les plus sévères, est celle à la quelle appartient le réseau déterminant la fréquence de réception : le circuit accordé de l'oscillateur local. La seconde catégorie, qui doit assurer la sensibilité et la sélectivité du récepteur, est celle des circuits accordés à la fréquence intermédiaire. La troisième catégorie, dans la présence est souhaitée mais pas strictement indispensables, est celle des circuits d'amplification de la haute fréquence : le circuit d'accord d'antenne et le circuit de limitation de bande passante il amplifie une gamme de fréquence proche de la fréquence utile avec un rapport minimal de bruit, et il est surtout d'éliminer tous les signaux indésirables qui risqueraient de perturber la réception de l'émetteur choisi,

### **Circuits LC dans le récepteur superhétérodyne :**

Les bobines et les condensateurs sont les composants principaux début circuit accordé, à quelque fréquence que ce soit l'impédance d'un circuit résonnant réel est complexe elle comporte une composante résistive et une composante réactive. La fréquence de résonance d'un circuit accordé LC est la fréquence à la quelle l'impédance devient résistive.



La base d'un circuit de syntonisation est constituée d'une bobine et d'un condensateur. Aussi ils sont la base du circuit à découplage dans les alimentations de différents étages, cette circuit a pour rôle d'éviter qu'une composante à la fréquence  $f$  soit transmise par la ligne d'alimentation. Le filtrage des alimentations est appliquer aux différents étages HF : amplificateurs, mélangeurs, démodulateurs.

## Les récepteurs FM stéréophoniques I : I- Introduction

Les récepteurs de radiodiffusion en FM utilisent généralement la structure superhétérodyne. Les principales caractéristiques d'un récepteur sont la sensibilité, la sélectivité, la stabilité et la dynamique, or le récepteur doit accomplir les tâches suivantes.

- La sélection, parmi les nombreux signaux captés par l'antenne, de la bande de fréquences correspondant au signal désiré ;
- L'amplification du signal ;
- La démodulation du signal, afin de reconstituer le signal modulant original.

## II - Caractéristiques principales d'un récepteur.

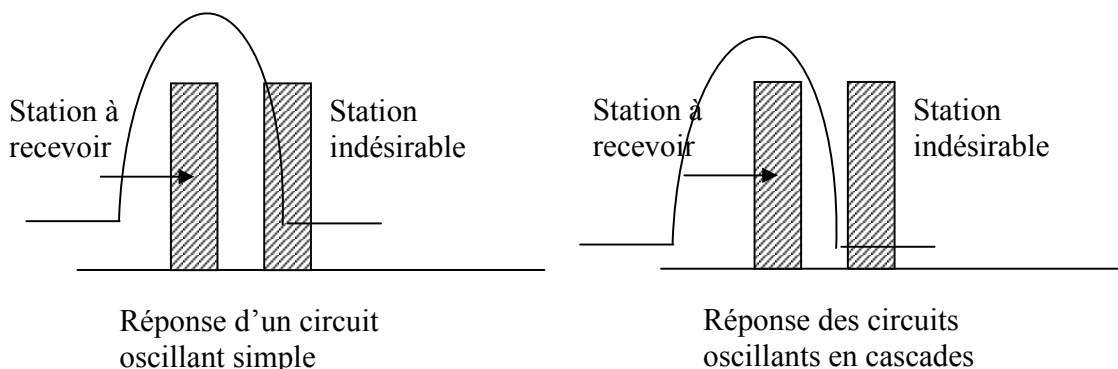
### 2.1 - La sensibilité.

La sensibilité d'un récepteur est l'amplitude du signal d'entrée nécessaire pour obtenir à la sortie du détecteur un rapport signal / bruit déterminé, d'où on peut dire que la sensibilité détermine la qualité d'un récepteur, elle dépend seulement de la partie HF.

### 2.2 - La sélectivité.

La sélectivité d'un récepteur décrit l'aptitude du récepteur à séparer le signal désiré de signaux perturbateurs à des fréquences voisines c'est à dire le pouvoir séparateur des stations les unes des autres.

Pour obtenir une information complète concernant la sélectivité d'un récepteur, le mieux est de relever sa courbe de réponse en fréquence.



## 2.3 - La syntonisation.

Ce terme dénote l'action de sélectionner une station sur un récepteur. Cette opération s'effectue, entre autres, à l'aide du condensateur variable des circuits oscillants de l'étage HF. Cette commande est la commande d'accord.

## 2.4 - La stabilité.

Il s'agit ici de la variation de la fréquence d'accord du récepteur lorsque la température ambiante ou la tension d'alimentation varient.

## 2.5 -La dynamique :

Cette caractéristique indique le rapport entre le signal le plus grand toléré à l'entrée du récepteur ( si le signal est trop grand, des distorsions apparaissent ) et le signal le plus faible ( déterminé par le bruit de récepteur ). Elle s'exprime en dB. Un très bon récepteur dispose d'une dynamique pouvant atteindre 100 dB.

## III – Récepteur superhétérodyne.

Ce récepteur dit moderne, convertisse les fréquences à recevoir en une fréquence unique à fin de l'amplifier et d'y appliquer leur sélectivité. Or hétérodyne signifie battement entre deux signaux, et super, pouvant être utilisée comme moyen.

Mnémotechnique pour se rappeler que le battement est effectué au moyen d'un signal de fréquence supérieure au signal reçu. En effet les tâches sont confiées à des étapes distinctes, ce qui permet d'optimiser chaque étape. Les performances seront bien meilleures voir figure.

## Récepteur superhétérodyne

Les principaux rôles de ce récepteur sont :

- ⇒ Un filtre placé entre l'antenne et l'entrée de l'amplificateur RF permet d'éviter une éventuelle saturation par des signaux puissants dans une autre bande de fréquence.
- ⇒ Un amplificateur RF, accordé sur la fréquence du signal désiré  $F_r$ , il est muni d'un CAG afin d'éviter d'appliquer au mélangeur des signaux trop élevés ;
- ⇒ Le mélangeur est la pièce maîtresse du récepteur superhétérodyne il réalise un changement de fréquence ; c'est à dire qu'il modifie la fréquence centrale du signal modulé sans modifier les positions relatives des bandes latérales ; cette nouvelle fréquence centrale s'appelle fréquence intermédiaire ( $F_i$ )

En fait le mélanger est un multiplicateur analogique suivi par un filtre accordé sur la fréquence  $F_i$ .

Soit un signal reçu à l'entrée du mélangeur :  $P_r = V_r \cos w_r t$

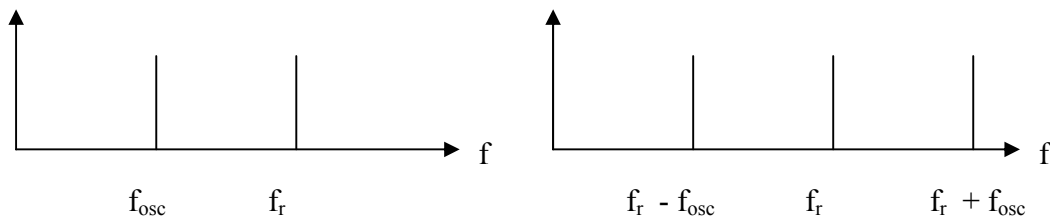
Soit un signal délivré par l'oscillateur local :  $P_{osc} = V_{osc} \cos w_{osc} t$

Le signal obtenu est :

$$S(T) = P_r \cdot P_{osc} = V_r \cos(w_r t) V_{osc} \cdot \cos w_{osc} t$$

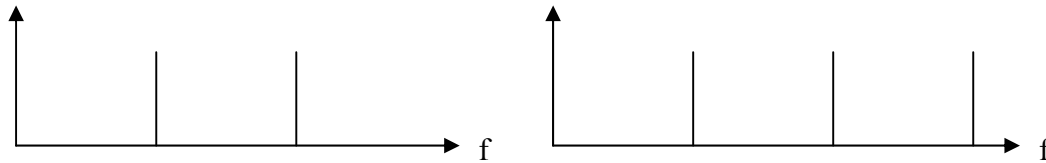
Si  $W_r > W_{osc}$  (Réception infradyne)

$$S(T) = \frac{1}{2} V_{osc} (\cos(w_r - w_{osc})t + \cos(w_r + w_{osc})t)$$



Si  $\omega_r < \omega_{osc}$  (Réception Supradynne)

$$S(T) = \frac{1}{2} V_{osc} (\omega_r - \omega_{osc})T + \cos(\omega_r + \omega_{osc})T$$



⇒ L'amplificateur à fréquence intermédiaire amène le signal au niveau nécessaire pour un fonctionnement correct du démodulateur ;

⇒ Le signal modulant va être restitué et amplifié

### Inconvénient majeur de super hétérodyne-fréquence image

Un mélangeur qui reçoit à ces entrées des signaux de fréquence  $F_1$  et  $F_2$ , fournit à sa sortie des signaux  $F_1 + F_2$  et  $F_1 - F_2$

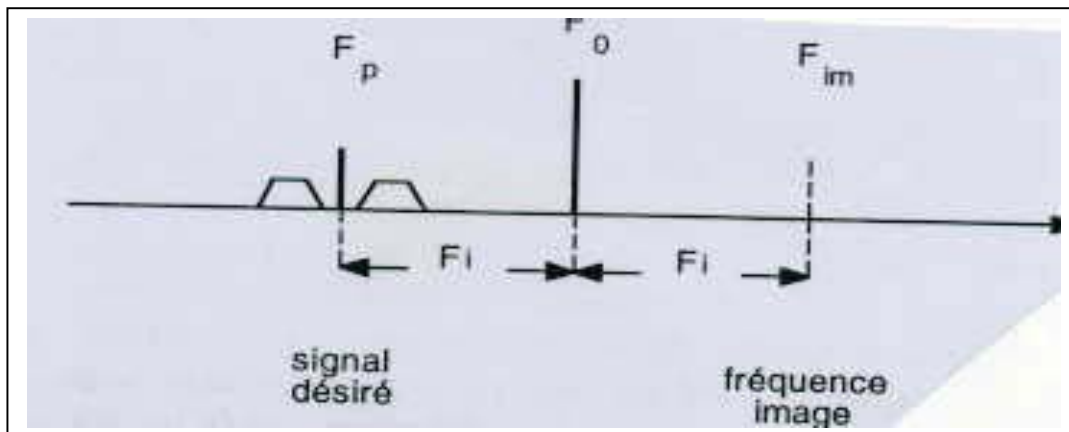
La fréquence locale est choisie généralement  $F_0 = F_r + F_i$

Où  $F_0$  : fréquence d'oscillateur local

$F_r$  : fréquence désiré

$F_i$  : fréquence intermédiaire

Si le mélangeur reçoit, en même temps que le signal  $F_r$ , un signal à une fréquence  $F_{im} = F_0 + F_i = F_r + 2F_i$ , ce signal sort du mélangeur avec la même fréquence centrale que le signal désiré et va donc interférer avec celui-ci ; pour éviter cela, il faut atténuer le signal à la fréquence image avant l'entrée du mélangeur on peut agir à deux endroits : au niveau de l'antenne, si elle est suffisamment sélective ( antenne ferrite) ou de l'amplificateur RF.

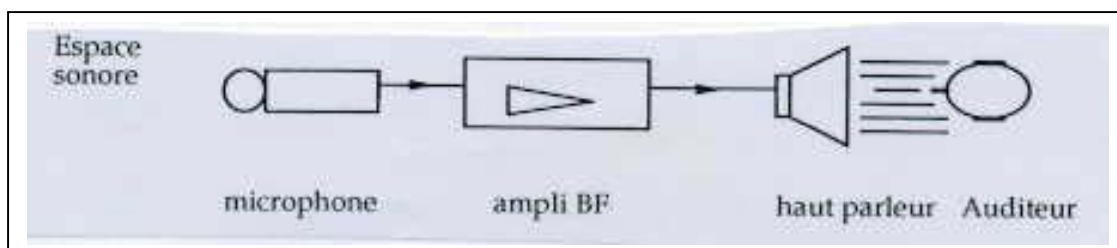


## IV- caractéristiques du son.

### 4.1 -Son mono :

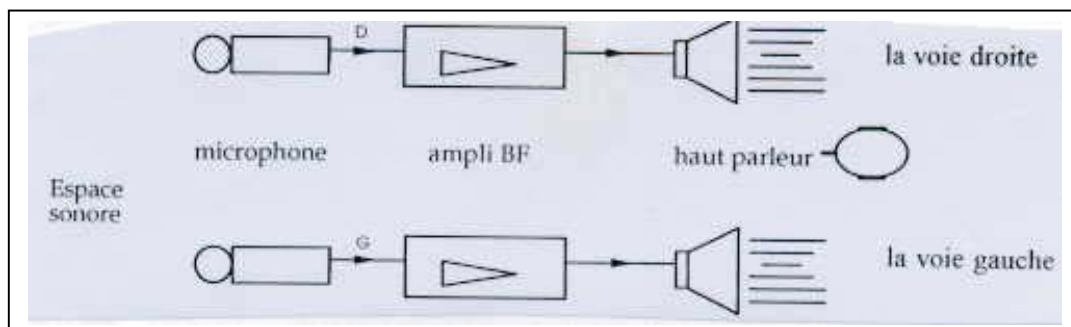
En monophonie, les sons viennent tous d'une même direction c'est à dire un mélange des sons.

Ce mode de reproduction ou d'écoute rend impossible de distinguer l'endroit d'où vient tel ou tel son car tous viennent d'un même point.



### 4.2 -Son stéréo.

Il est composé de deux informations. L'une sur la voie droite (D) et l'autre sur la voie gauche ; cette technique permet de fournir à l'auditeur d'avantages d'informations qu'en monophonie concernant la disposition spatiale des sources sonores :



La stéréophonie a pour projet de décrire un espace acoustique à deux dimensions (latéralité et profondeur) limitées et cadrées.

## 4.3 -la compatibilité.

Lors de l'introduction des émissions stéréophoniques dans la radio diffusion en FM, la question qui se pose est la compatibilité c'est à dire un récepteur mono doit recevoir clairement une émission en stéréophonique est vis-versa.

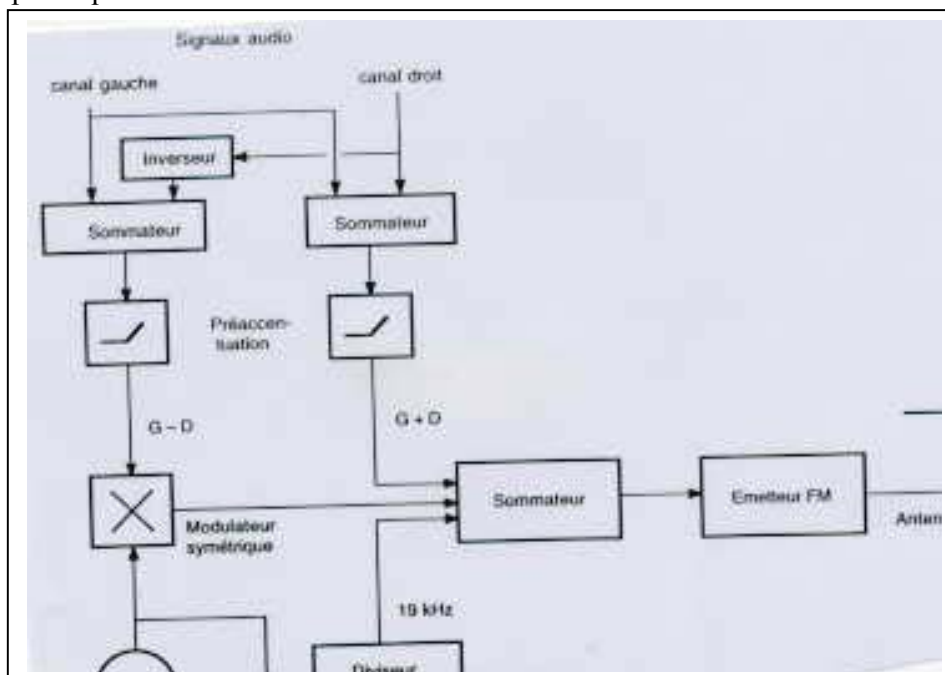
Il n'est pas question de transmettre séparément les deux canaux par deux émetteurs différents, car dans ce cas le récepteur mono ne reçoit qu'un seul canal droit ou gauche et non un mélange des deux, Ces deux informations doivent donc transmises sur un seul canal de fréquences utilisées en radiodiffusion sans augmentation sensible de la largeur de bande pour ne pas provoquer un encombrement trop important du spectre.

Le procédé adopté, pour répondre à ces deux exigences (largeur de bande, impetibilités) est le système multiplex qui modulera l'émetteur FM.

### V – La transmission stéréophonique multiplex.

Avec la généralisation de la stéréophonie dans l'industrie il est évidemment souhaitable de pouvoir émettre et recevoir un signal stéréophonique modulé en fréquence.

La figure suivante. montre la structure d'un émetteur en modulation de fréquence stéréophonique.



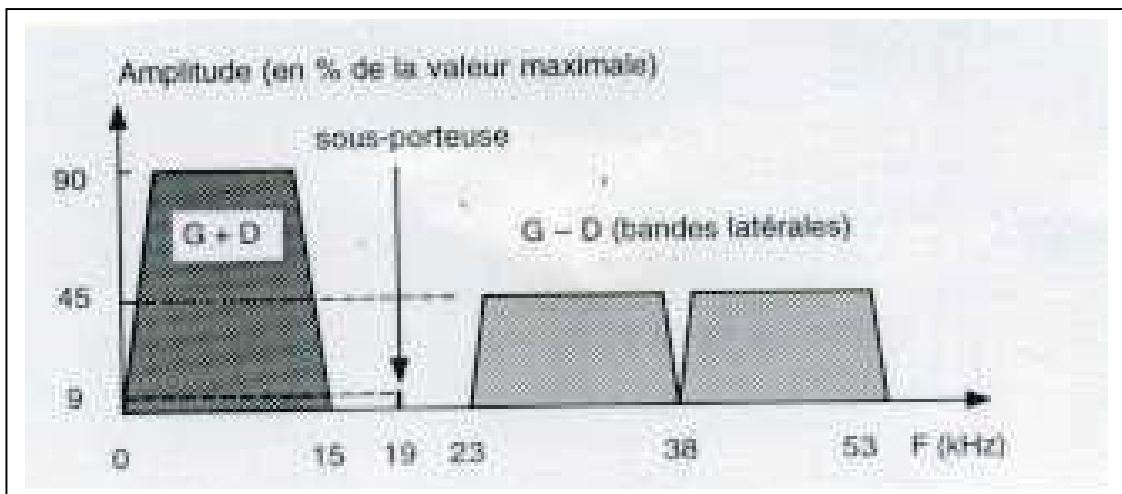
Les signaux correspondant aux canaux gauche (G) et droit (D) sont sommés par un circuit sommateur ; la somme des canaux est l'information qui doit capter un récepteur monophonique ; le signal  $G+D$ , passe par un circuit de préaccentuation et module l'émetteur FM comme si c'était un signal monophonique.

Par ailleurs le signal D est inversé et combiné au signal G pour obtenir  $G-D$ , or le signal  $G-D$  est d'autant plus grand que le signaux G et D soient différents. Il n'est évidemment pas possible d'ajouter  $G-D$  à  $G+D$  car on perdrait D ; aussi le signal  $G-D$ , après pré accentuation, va moduler en amplitude une sous-porteuse à 38 KHz qui est générée par un oscillateur.

On sait que la porteuse ne sert pas à grand chose dans une émission AM, mais consomme beaucoup d'énergie, on a donc éliminer totalement la sous-porteuse 38 KHz à l'émission en utilisant un modulateur symétrique.

Cependant, il sera nécessaire de reconstituer, dans le récepteur, une porteuse à 38 KHz, qui ait non seulement la même fréquence, mais encore la même phase que la sous porteuse supprimée à l'émission. La seule façon de pouvoir régénérer cette sous porteuse dans le récepteur, c'est de transmettre, outre les signaux somme et différence, un signal de synchronisation. Ce signal est obtenu en dévissant, à l'émission la fréquence de l'oscillateur à 38 KHz par deux.

La figure suivante montre le spectre du signal multiplex obtenu :





Le signal somme  $G+D$  qui comporte des composantes de 20Hz à 15 KHz ;

⇒ Le signal différence qui comporte de 23 à 37,97 KHz et 38,03 à 53 KHz.

⇒ Le signal de synchronisation à 19 KHz.

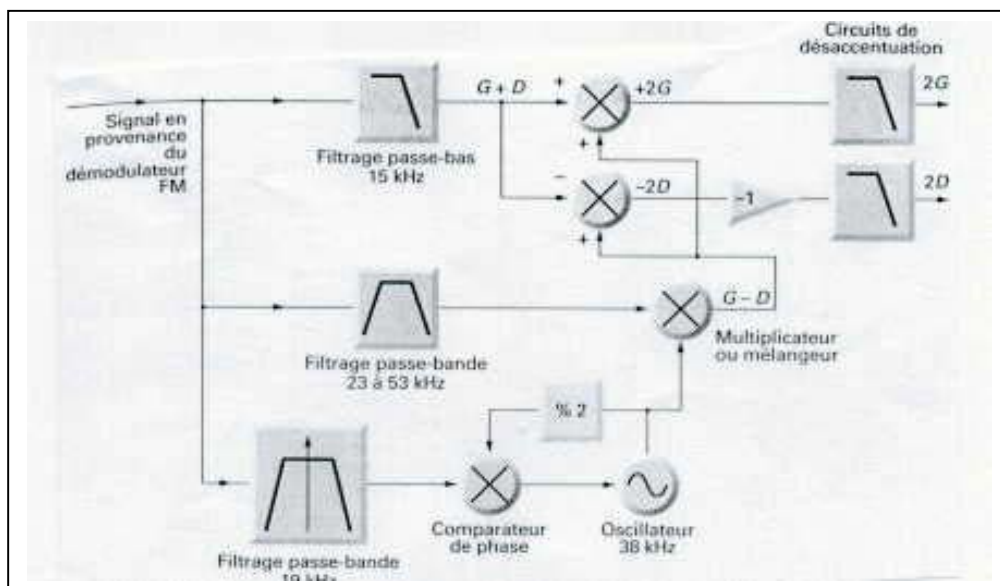
Le signal multiplex ( SM) peut se mettre sous la forme analytique suivante :

$$SM=0,9.\left[\frac{[G+D]}{2}+\frac{[G-D]}{2}\cos 2P_w t\right]+0.09\cos \omega t$$

Où  $W_p = 2 \Pi \cdot 19 \text{ KHz}$

On remarque que le signal somme ne module plus qu'à 90% la porteuse FM, alors qu'il la module en monophonique à 100%. La sous-porteuse à 19 KHz module en permanence la porteuse à 9% ; le 1% résiduel est aux résidus éventuels de la sous-porteuse à 38KHz.

Le multiplex précédant module en fréquence l'émetteur dans la bande 88-108 MHz par exemple. A la réception, en sortie du démodulateur, on récupère ce même multiplex. Le schéma synoptique de la figure suivante donne une solution pour récupérer les signaux  $G$  et  $D$ , qui sont les signaux utiles. Le signal  $G + D$  s'obtient facilement par filtrage qui élimine le pilote à 19 kHz et les deux bandes latérales autour de 38 kHz. Le signal pilote à 19 kHz est sélectionné par filtrage. Le filtrage est aisé puisque le pilote est à 4 kHz du signal  $G + D$  et de la bande latérale la plus proche.



La récupération de la porteuse n'aurait pas pu se faire aussi simplement si un faible niveau de la raie à 38 kHz avait été transmis. Le signal audio peut contenir des fréquences basses jusqu'à 20 Hz.

Une boucle à verrouillage de phase permet de reconstituer un signal à 38 kHz.

Ce signal est envoyé à un mélangeur, ou multiplicateur, simultanément avec les deux bandes latérales filtrées entre 23 et 53 kHz. La démodulation AM est effectuée et on récupère finalement le signal  $G - D$ .

Par matriçage, il est aisé de reconstituer les signaux  $G$  et  $D$  qui sont finalement désaccentués. La présence de ces opérations de préaccentuation et désaccentuation est due à la modulation de fréquence.

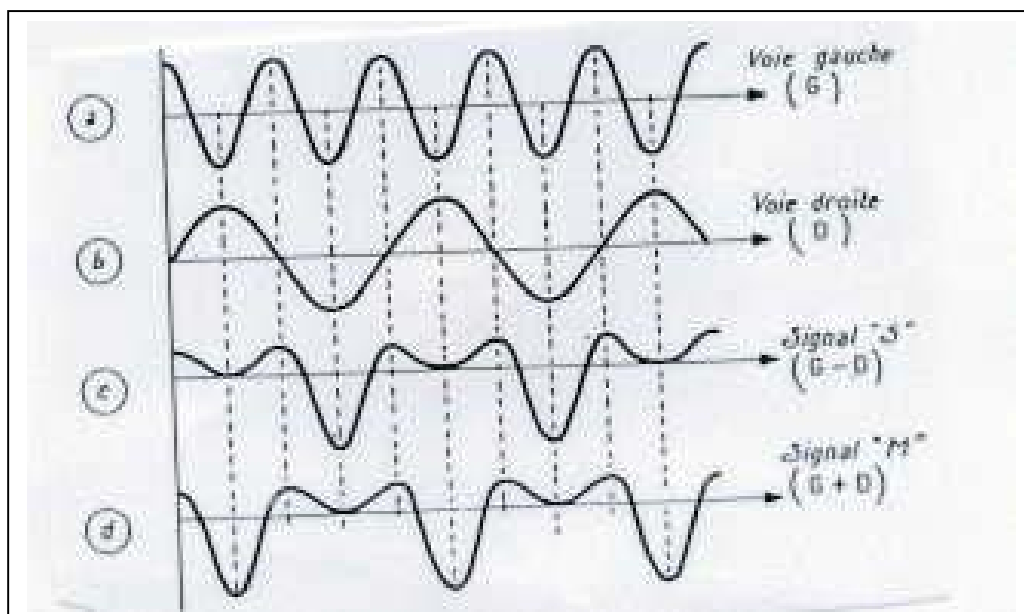
Selon la formule courante qui dit la largeur de bande de l'émission vaut deux fois la somme de la déviation de fréquence et de la fréquence maximale présente dans le signal modulant cela donne :

$$LB = 2 (75\text{KHz} + 53\text{KHz}) = 256\text{KHz}$$

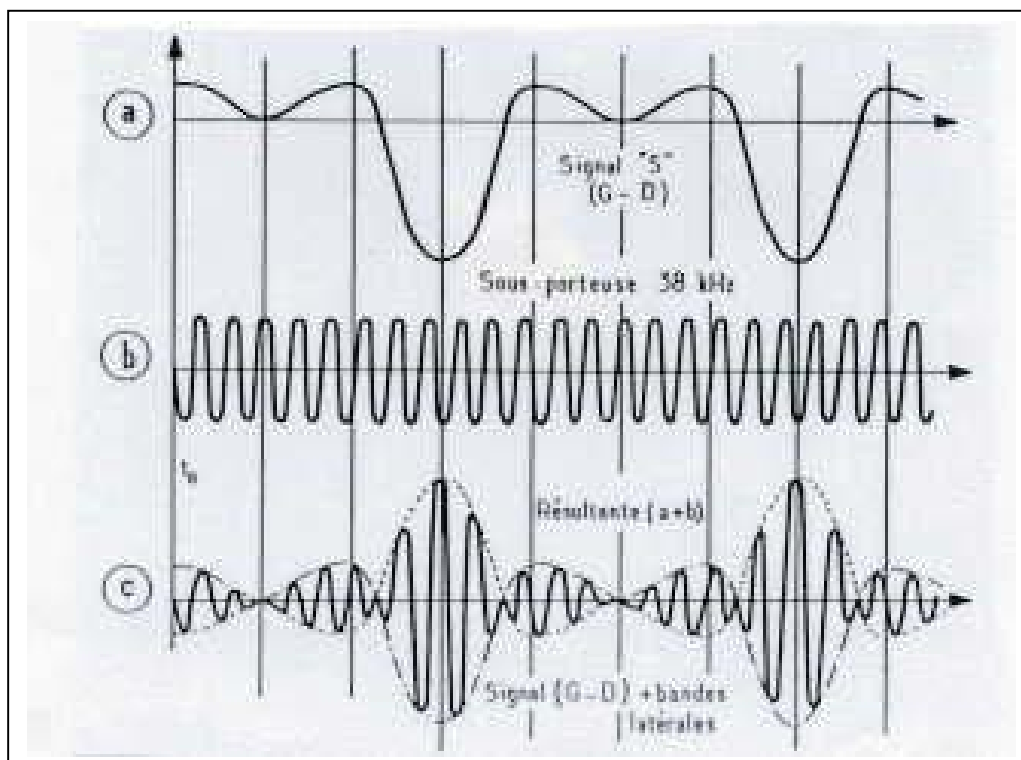
En monophonique si  $\Delta F = 75\text{KHz}$  on a  $LB = 180\text{KHz}$

Donc la largeur de bande est un peu supérieure à la largeur de bande en monophonique.

Lorsque les deux signaux  $G$  et  $D$  sont deux sinusoïdes et la fréquence de  $G$  est le double celle de  $D$  on obtient les courbes suivantes :



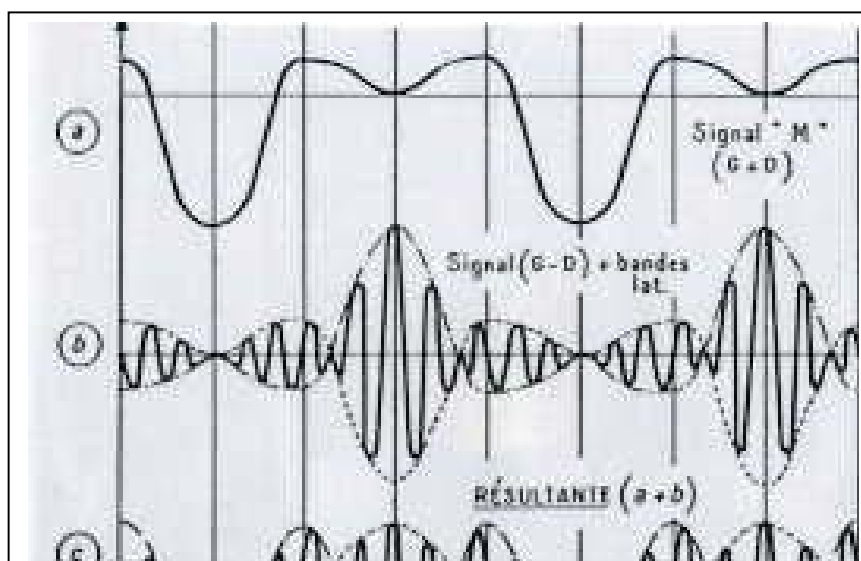
Pour le signal  $S=(G-D)/2$  doit moduler une sous-porteuse à 38 KHz on obtient donc :



Pour obtenir le signal c'est à dire après l'étage mélangeur on obtient

$$SM = M + S \sin 2 \Omega t + E_p \sin \Omega t$$

La figure suivante illustre le signal de sortie du mélangeur



Finalement on constate que l'auditeur possédant un récepteur mono reçoit bien, entre 30Hz et 15 KHz, un signal à tout point comparable à celui qu'aurait procuré une prise de son mono. Par contre, les fréquences supérieures (19KHz : fréquence pilote ; 23 ➔ 53KHz : bandes latérales de modulation du signal (S) sont inaudibles (ultrasoniques) ; et que pour un récepteur stéréo, un décodeur, placé après le discriminateur permet de détecter les signaux des voies gauche et droite.

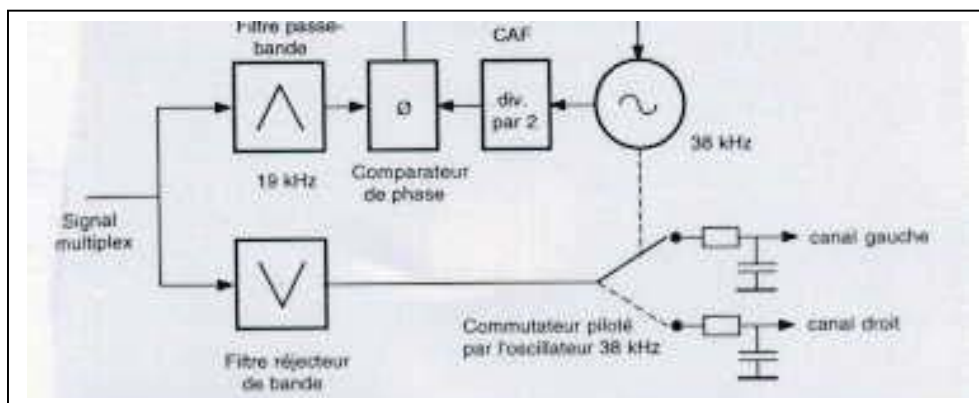
## VI – Décodeur stéréophonique.

On considère le signal multiplex débarrassé de la composante à 19KHz ; il vaut :

$$SM=0,9 \cdot \left[ \frac{[G+D]}{2} + \frac{[G-D]}{2} \cos 2W_{spt} \right]$$

On remarque qu'à tous les instants où le Cos vaut 1,  $SM=0,9G$ ,  
et aussi à tous les instants où le Cos vaut -1,  $SM=0,9D$

Il sera donc possible de séparer les deux signaux G et D en reliant le signal multiplex (sans la composante à 19 KHz ) alternativement aux deux sorties. La figure suivante montre la structure d'un tel décodeur.



La sous-porteuse à 19KHz est séparée du restant du signal multiplex par un filtre passe-bande étroit. On comprend maintenant pourquoi on choisi de transmettre la sous-porteuse à 19 plutôt qu'à 38KHz : en effet, il sera relativement aisé de séparer la composante à 19 Khz des autres composantes qui sont séparées d'au moins 4KHz ; alors que si l'on avait émis une sous-porteuse résiduelle à 38KHz, il aurait été bien plus malaisé de la filtrer puisqu'elle est entourée de part et d'autre par les bandes latérales.

La sous-porteuse à 38 Khz est recrée par un oscillateur ; pour que la fréquence de celui-ci soit rigoureusement égale à la fréquence de l'oscillateur de l'émetteur, on utilise une boucle à verrouillage de phase : le comparateur reçoit sur une entrée le signal à 19 KHz transmis par l'émetteur, sur l'autre entrée la sortie d'un diviseur de fréquence par 2 qui est piloté par l'oscillateur à 38 KHz ; tout glissement de fréquence de celui-ci sera détecté par le comparateur de phase et corrigé le signal multiplex débarrassé de la composante 19 KHz est appliqué à un commutateur qui applique le signal alternativement à la sortie canal gauche et à la sortie canal droit pendant un court instant. Ce commutateur est piloté par l'oscillateur à 38 KHz.

Nous comprenons ainsi les deux appellations du décodeur :

- ⇒ Il est synchrone car le fonctionnement du commutateur doit être synchronisé par le signal provenant de l'émetteur.
- ⇒ Il est à échantillonnage car on prélève des échantillons du signal multiplex à des instants bien choisis.

On place un circuit RC sur chaque sortie ; ce circuit a un double rôle :

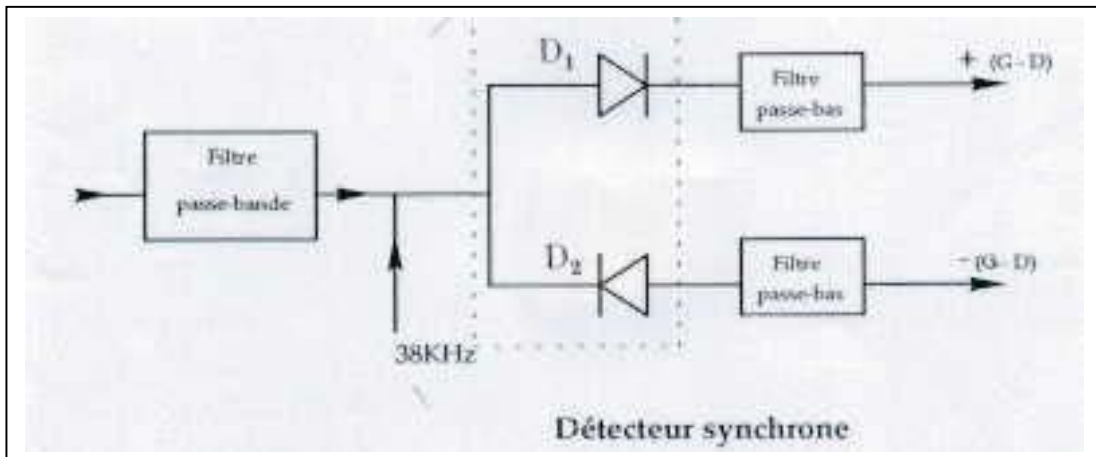
- ⇒ Il se comporte comme un circuit de maintien, qui maintient la sortie au niveau qu'elle a au moment où le commutateur s'ouvre ;
- ⇒ Décodage par échantillonnage.

Cette représentation spectrale montre qu'un simple filtrage permet de restituer le signal BF.

### **Décodage par sommation :**

Ce type de décodage se base sur la séparation des 3 composantes : (M,S modulé et la fréquence pilote 19 KHz) du signal multiplex :

Le signal monophonique M est obtenu directement à la sortie du filtrage passe-bas. Le signal S modulé est isolé par filtre passe bande. La fréquence pilote 19 KHZ est obtenu au moyen d'un circuit accordé sur 19 KHZ et envoyé vers un doubleur de fréquence qui procurera le signal à 38 KHZ nécessaire pour le détecteur synchrone.

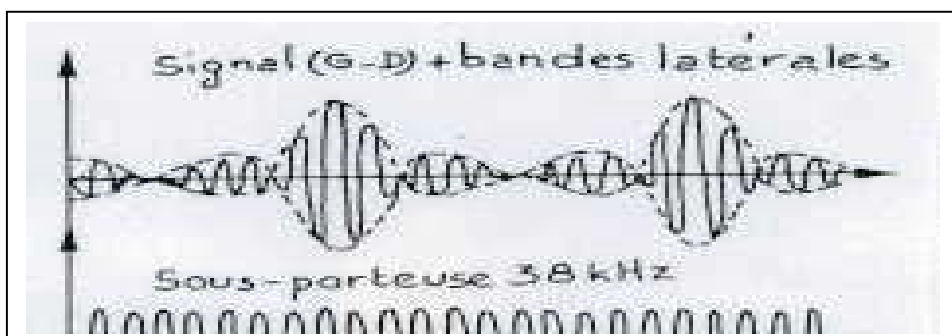


Les deux diodes montées, en sens inverse, permettent de les signaux  $+(G-D)$  et  $(G-D)$

En fin on combine les signaux M et S dans une matrice pour produire les signaux des voies gauche et droite.

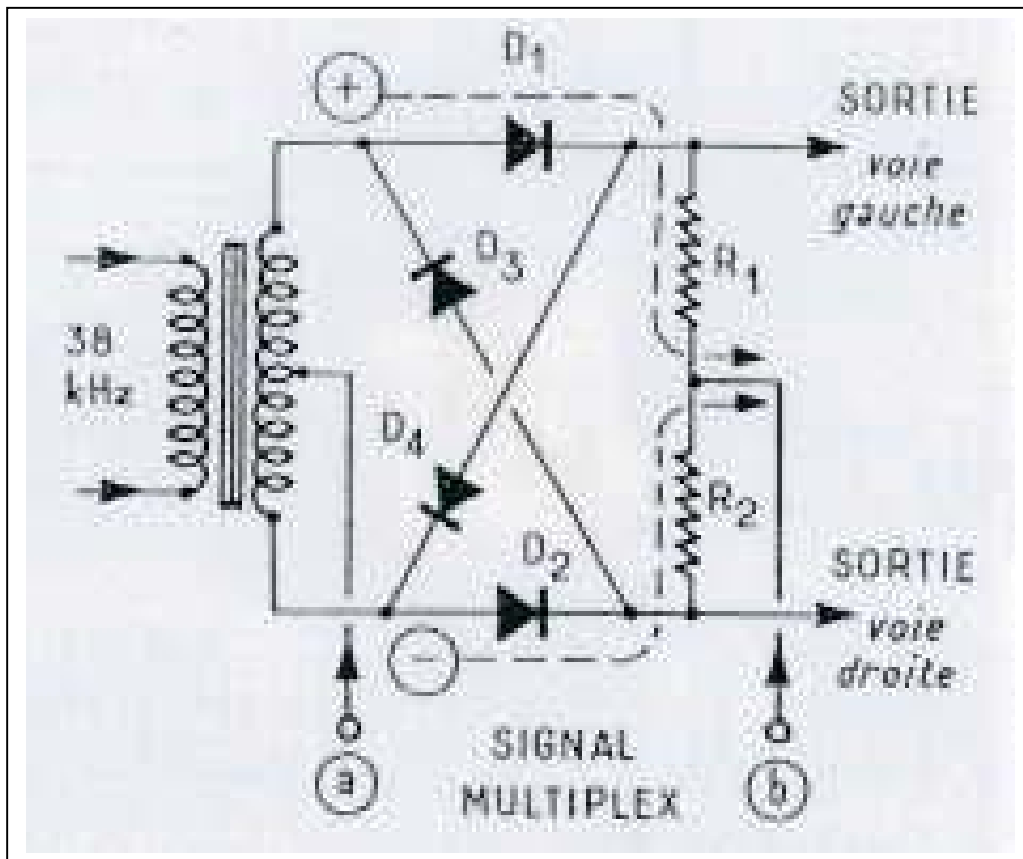
$$2G=M+S=(G+D)+(G-D)$$

$$2D=M-S=(G+D)-(G-D)$$



### Décodage par échantillonnage:

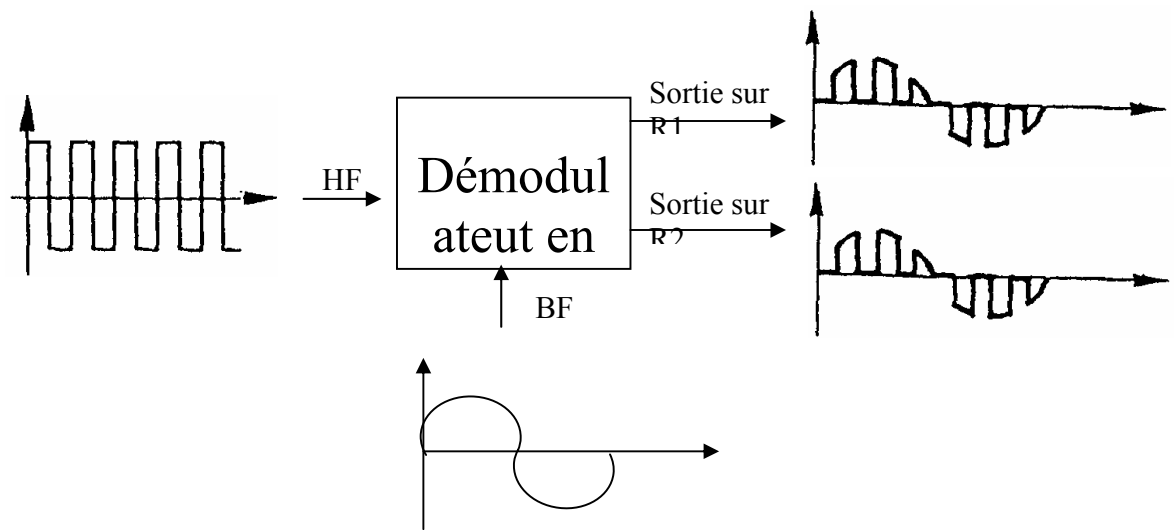
Ce type de décodage utilise généralement un démodulateur en anneau commandé par la sous-porteuse 38 kHz, commutant alternativement pendant 1/76000s la voie droite puis la voie gauche.



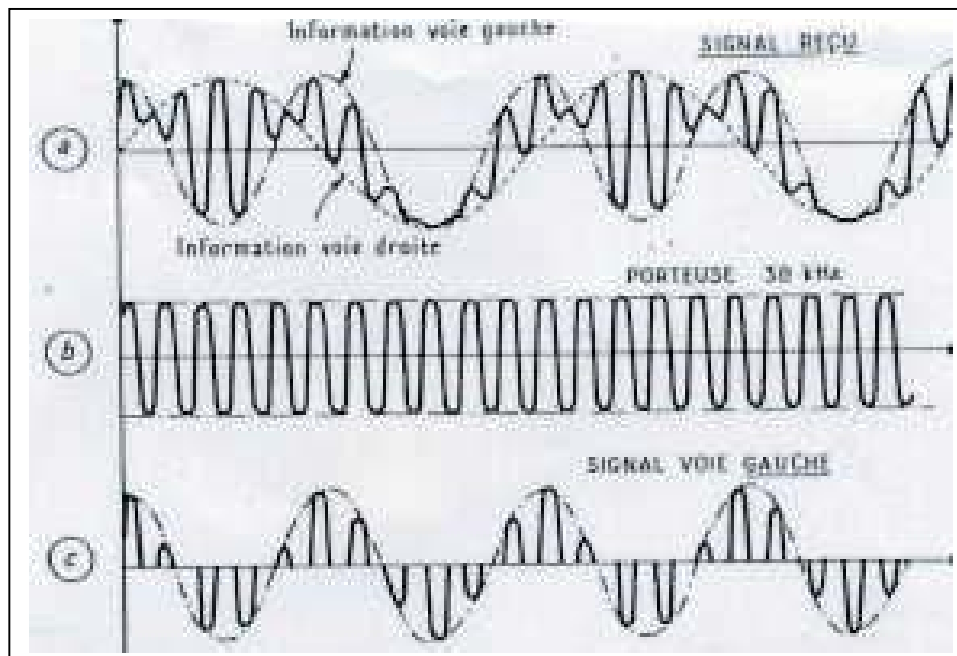
Fonctionnement : La porteuse 38 kHz appliquée à l'entrée du transformateur a pour rôle de bloquer et de débloquer les diodes D1 à D4 qui vont se comporter comme des simples interrupteurs à l'égard du signal BF injecté entre "a" et "b".

Pendant les alternances positives de la sous-porteuse 38 kHz, les diodes D1 et D2 sont conductrices, le signal BF apparaîtra échantillonné aux bornes de R1 et pendant les alternances négatives les diodes D3 et D4 sont conductrices, le signal; apparaîtra échantillonné aux bornes de R2.

Le démodulateur en anneau est alors assimilable à deux échantillonneurs commandés l'un par les alternances positives l'autre par les alternances négatives de la HF



Prenant l'exemple d'un signal MPX dont la fréquence de l'information de la voie gauche est le double de celle de l'information de la voie droite.

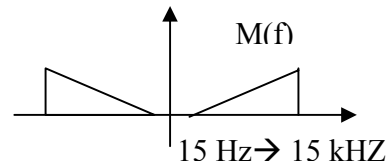




On constate que les informations correspondantes aux voies gauche et droite se trouvent échantillonnées respectivement aux bornes R 1 et R2., un simple filtrage permet de restituer (filtrage et désaccentuation) le signal utile a l'écoute

**Rappel théorique:**

soit  $m(t)$  un signal radiophonique, son spectre s'étend de 15 Hz  $\rightarrow$  15 kHz



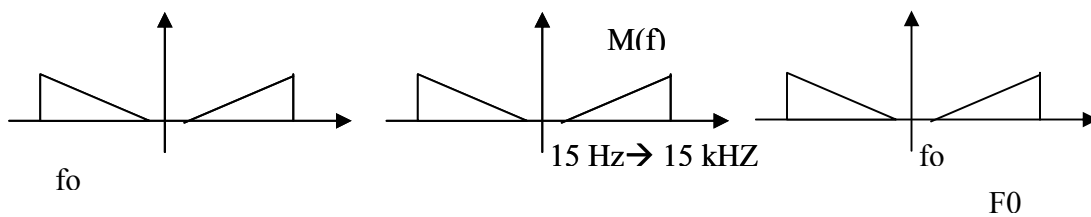
$m^*(t) = m(t) \cdot p(t)$ , avec  $p(t)$  échantillonneur idéal

$$P(t) = \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_o)$$

$$\Rightarrow M^*(f) = M(f) * P(f)$$

$$= M(f) * 1/T_o \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta(f - n f_o)$$

$$= 1/T_o \sum_{-\infty}^{+\infty} M(f - n f_o)$$

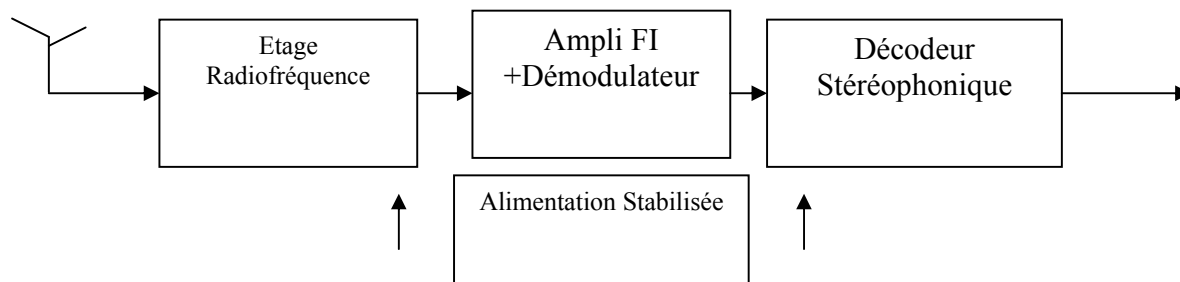


Cette représentation spectrale montre qu'un simple filtrage permet de restituer le signal BF

## **Partie Pratique**

# RÉCEPTEUR ET AMPLIFICATEURS BASSE FREQUENCE

Le schéma synoptique d'un récepteur est le suivant :



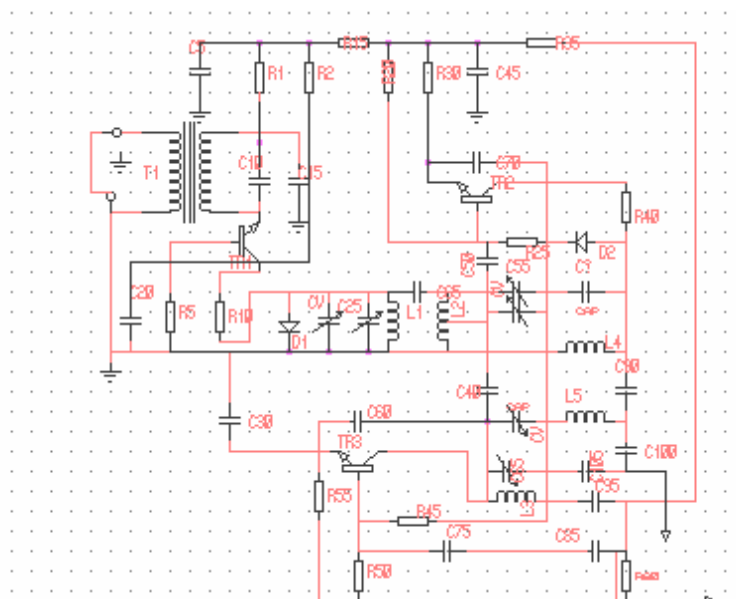
## I- Description du schéma :

Le schéma électrique peut se diviser en quatre parties principales :

- La section d'entrée et de conversion.
- La section amplificatrice a fréquence intermédiaire 10,7 Mhz.
- Le décodeur stéré.
- L'alimentation secteur stabilisée.

Section d'entrée et de conversion :

On retrouve dans cette section le schéma classique de l'étage d'entrée et de conversion. Le



signal d'antenne est tout d'abord appliqué au premier étage HF Tr1 après avoir traversé le filtre adaptateur d'impédance T1-C10. A la sortie de cet étage, l'accord est obtenu au moyen du circuit constitué de la première section de C.V. et de la bobine L1. La diode D1 procède à limitation du signal qui pourrait être trop élevé, en particulier au voisinage d'une station émettrice.

Ce signal est ensuite appliqué à l'étage de conversion équipé du transistor Tr2 qui fonctionne dans la partie non linéaire de sa caractéristique. De cette façon, le signal HF et celui provenant de l'oscillateur local Tr3 se combinent en donnant lieu à deux bandes de fréquences intermédiaire, dont l'une seulement est utilisée, l'autre constituant la fréquence qui doit être complètement éliminée. Le signal à appliquer au mélangeur est préalablement filtré par le circuit accordé constitué par la seconde section du condensateur variable CV et de la bobine L2 qui, avec sa prise intermédiaire procède à la l'adaptation des indécences. L'oscillateur local est accordé par la troisième section du condensateur variable Cv et par la bobine L3. A la sortie du mélangeur on déspose donc d'un signal à fréquence intermédiaire de 10,7Mhz qui est sélectionné par le circuit accordé de sortie constitué de L4, L5, C80,C90,C100+C105. Ces deux derniers condensateurs sont connectés à une prise intermédiaire de sortie pour assurer l'adaptation d'impédance avec les étages suivants.

La sortie de fréquence intermédiaire par transformateur avec couplage capacitif assure une bonne délimitation de la bande passante. Les bobinages FI, L4et L5, disposent de noyaux réglables qui permettent un parfait centrage sur la fréquence de 10,7Mhz.

#### NOMENCLATERE :

Les résistances :

$$R_1 = 2,7 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = R_{20} = 3,9 \text{ K}\Omega$$

$$R_{30} = 1,5 \text{ K}\Omega$$

$$R_{15} = R_{35} = 270\Omega$$

$$R_{40} = 100 \Omega$$

$$R_5 = R_{55} = R_{25} = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_{10} = 68 \Omega$$

$$R_{45} = 1,8 \text{ K}\Omega$$

$$R_{50} = 22 \text{ K}\Omega$$

$$R_{60} = 560 \text{ K}\Omega$$

Les capacités :

$$C_5 = C_{50} = C_{45} = C_{15} = C_{20} = C_{75}, = C_{85} = 1\text{nF}$$

$$C_{10} = C_{30} = 22 \text{ pF}$$

$$C_{70} = 10\text{nF}$$

$$C_{80} = C_{100} = 150 \text{ pF } C_{35}$$

$$C_{90} = 3,3 \text{ pF}$$

**C<sub>60</sub> = 4,7 pF**

$$C_{40} = 1,5 \text{ pF}$$
$$C_{105} = 470 \text{ pF}$$

Capacités variables :

### Trois capacités variables CV et C<sub>25</sub>, C<sub>55</sub>, C<sub>65</sub>

Capacités chimiques :

$$C_{95} = 100 \mu F$$

Bobines variables :

**L<sub>1</sub> (marron), L<sub>2</sub> (bleu), L<sub>3</sub> (orange), L<sub>4</sub> (verte), L<sub>5</sub> (rouge)**

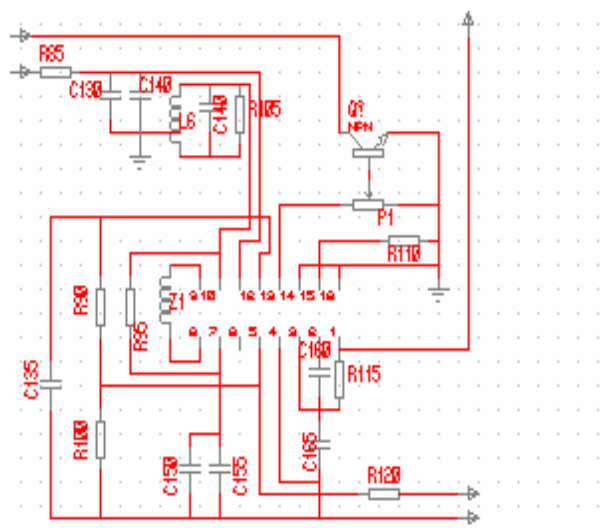
Transistors :

**Tr<sub>1</sub> = Tr<sub>2</sub> = BF 235**

### Diodes :

**D<sub>1</sub> = D<sub>2</sub> = 1N914 BAX13**

### A. Section à fréquence intermédiaire :



A l'inverse des étages habituels en cascade à couplage par transformateur, on constate sur le schéma, f2, que la chaîne FI se ramène à un unique circuit intégré accompagné d'un seul circuit accordé. Le circuit intégré effectue aussi la détection du signal qui, constituait un point critique avec les circuits traditionnels. Le circuit intégré TDA1200 renferme tous

les composants nécessaires pour obtenir un signal audible parfait avec un minimum de composants discrètes externes.

L'amplificateur comporte trois étages avec limiteur pour réduire l'amplification quand le signal d'entrée dépasse un certain niveau. Il comporte en outre un détecteur FM qui exige pour l'alignement un simple circuit accordé constitué de L6,C145 ,R105, au lieu de transformateur exigé dont les détecteurs de rapport habituels.

Le circuit dispose d'une sortie proportionnelle utilisée par l'indicateur d'accord. Cet indicateur est constitué d'une diode LED TINING pilotée par le transistor Tr4 dont l'amplification peut être réglée au moyen du potentiomètre P1 le centrage de la plage de luminosité en fonction de l'amplitude du signal. Intégrés au circuit, on trouve aussi un amplificateur basse fréquence et un circuit de réglage silencieux (squelech) qui permet à l'amplificateur de fonctionner seulement si le signal d'entrée dépasse un seuil déterminé. Dans notre cas, le fonctionnement du squelech est fixé par les résistances R90 et R100.

La tension d'alimentation, avant d'être appliqué au circuit, passe à travers un stabilisateur de tension, lui aussi intégré sur le chip de silicium.

#### NOMONCLATURE :

Circuits intégrés :

**CI<sub>1</sub> = TDA 1200**

Résistances :

**R<sub>85</sub> = 100 Ω**

**R<sub>105</sub> = 3,9 KΩ**

**R<sub>110</sub> = 10 KΩ**

**R<sub>90</sub> = 470 KΩ**

**R<sub>95</sub> = R<sub>120</sub> = 4,7 KΩ**

**R<sub>100</sub> = 220 KΩ**

**R<sub>115</sub> = 330 Ω**

Résistances variables :

**P = 47 KΩ (+1,1V)**

Capacités :

**C<sub>140</sub> = C<sub>150</sub> = 10 nF**

**C<sub>145</sub> = 100 pF**

**C<sub>160</sub> = C<sub>165</sub> = 20 nF**

Capacités chimiques :

**C<sub>130</sub> = 20 μF (16V)**

**C<sub>135</sub> = 1 μF (12V)**

**C<sub>155</sub> = 4,7 μF (-12V)**

Bobines variables :

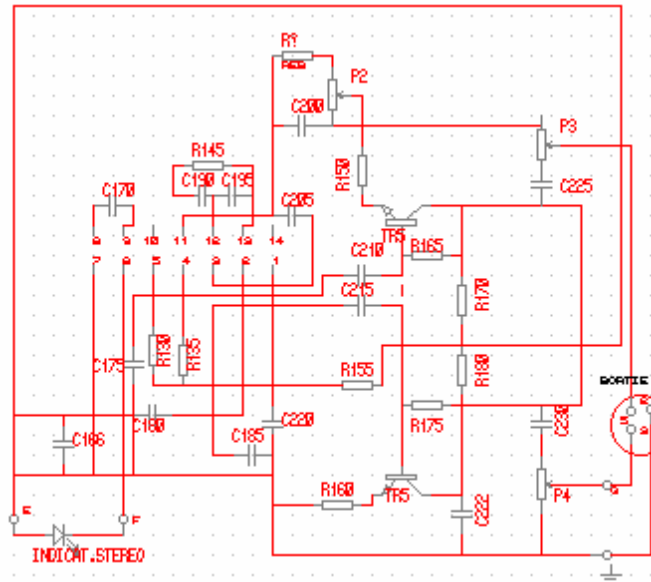
**L6**

Transistors :

**Tr<sub>4</sub> = BC 208B**

Impédance **Z<sub>1</sub>**

## B. Décodeur stéréo :



Celui-ci est réalisé à partir d'un circuit intégré MC1310P. L'utilisation d'un tel composant permet d'éliminer tout bobinage, l'accord sur le signal pilote se faisant au moyen d'un simple potentiomètre.

Le circuit intégré CI2 opère de la façon suivante :

Un oscillateur interne délivre un signal à 76 KHz qui, après avoir traversé deux étages diviseurs par deux, est appliqué au modulateur d'entrée. Ce signal est ajouté au signal d'entrée, de telle sorte que lorsqu'un signal de pilotage à 19KHz est reçu, on obtient une composante en courant continu.

Celle-ci est extraite au moyen d'un filtre passe-bas pour contrôler la fréquence de l'oscillateur interne, qui, en conséquence, est asservi en phase avec le signal pilote. Le signal à 38KHz qui sort du premier diviseur est donc en phase correcte pour le décodage du signal stéréo. Le décodeur est en substance un autre modulateur dont le quel les signaux d'entrée sont multiplexés avec le signal composite à 38KHz. Ce dernier est fourni au décodeur stéréo à travers un interrupteur interne qui se ferme quand parvient un signal à 19KHz d'amplitude suffisante.

Le signal à 19KHz qui alimente la boucle modulatrice pour la reconstitution du signal à 38KHz est en quadrature avec la fréquence pilote de 19KHz en phase avec le signal pilote. Celui-ci est multiplexé avec le signal d'entrée dans un modulateur et fournit une composante en courant continu, proportionnelle à l'amplitude de la modulation de pilotage. Cette composante, après filtrage, est appliquée au circuit de commutation qui active tant l'interrupteur stéréo que la lampe témoin LED STEREO. Les résistances R130 et R135, associée aux condensateurs C175et C185 assurent la désaccentuation, la constante du circuit devant être égale à la valeur standard de 75 $\mu$ s.

Le condensateur C170 fait partie du filtre de commutation tandis que C205 sert à augmenté le déphasage entre la sous porteuse reconstituée à 38KHz et celle original qui module le signal. Le réseau constitué de R145, P2 et C200 déterminent la fréquence de l'oscillateur. Le potentiomètre sert à centrer la fréquence qui sera contrôlée à la borne 10

du CI sur la quel en prélève un signal carré de 3V pointe directement applicable à un fréquentiomètre pour l'alignement.

Les signaux provenant des deux sorties D et G sont ensuite amplifiés par les transistors Tr5 et Tr6 de manière à être disponible à la sortie avec un niveau suffisant pour alimenter n'importe quel type d'amplificateur basse fréquence ; en outre, il a été prévu deux potentiomètres P3 et P4 qui serviront à doser convenablement le signal de sortie et à assurer la balance entre les deux canaux stéréo.

#### NOMENCLATURE :

Circuits intégrés :

**CI<sub>2</sub> = MC 1310P**

Résistances :

**R<sub>140</sub> = 1 KΩ**

**R<sub>150</sub> = 820Ω**

**R<sub>145</sub> = 16 KΩ**

**R<sub>165</sub> = R<sub>175</sub> = 2,2 MΩ**

**R<sub>170</sub> = R<sub>180</sub> = 15 KΩ**

**R<sub>125</sub> = 560Ω**

**R<sub>155</sub> = 220Ω**

**R<sub>135</sub> = R<sub>130</sub> = 3,9 KΩ**

**R<sub>160</sub> = 820Ω**

Résistances variables :

**P<sub>2</sub> = 4,7 K Ω**

**P<sub>3</sub> = 100 KΩ**

**P<sub>4</sub> = 100 KΩ**

Capacités :

**C<sub>190</sub> = 470 nF**

**C<sub>195</sub> = C<sub>225</sub> = C<sub>230</sub> = 220 nF**

**C<sub>200</sub> = 470 pF**

**C<sub>221</sub> = C<sub>222</sub> = 820 pF**

**C<sub>175</sub> = C<sub>185</sub> = 10 nF**

**C<sub>166</sub> = 220 nF**

Capacités chimiques :

**C<sub>220</sub> = 100 μF (16V)**

**C<sub>210</sub> = C<sub>215</sub> = 1 μF (12V)**

**C<sub>180</sub> = 2 μF (-12)**

Transistors :

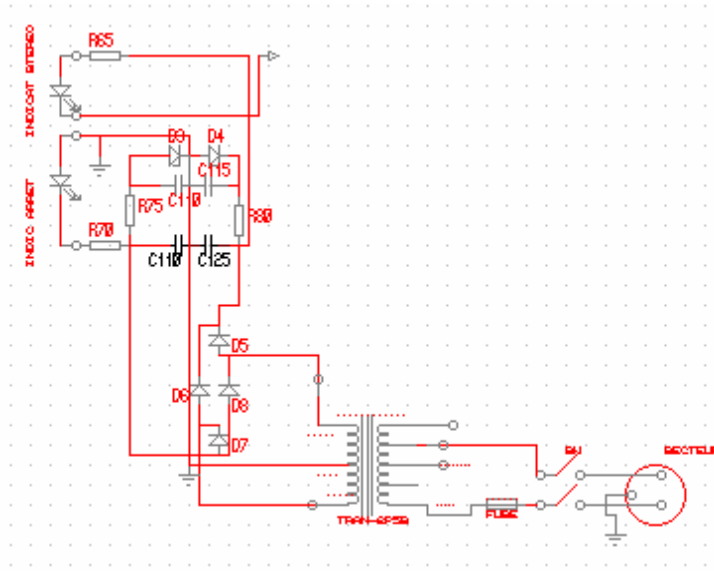
**Tr<sub>5</sub> = Tr<sub>6</sub> = BC 209 B**

Diodes :

Diode indicat stéréo



### C. L'alimentation :



La tension secteur abaissée par le secondaire du transformateur d'alimentation T.A. est redressée par le pont de Graetz constitué des diodes D5, D6, et D8. Comme la prise de l'enroulement est connectée à la masse, nous disposons de deux tensions, l'une positive, l'autre négative. Ces deux tensions sont filtrées par les ensembles C<sub>120</sub>, R<sub>75</sub>, C<sub>110</sub> et C<sub>125</sub>, R<sub>115</sub>, puis stabilisées par les diodes zener D<sub>3</sub> et D<sub>4</sub>.

La tension négative alimente la première section du circuit tandis que les autres sections sont alimentées par la tension positive. L'indicateur LED ON-OFF signale la mise sous tension de l'appareil.

#### NOMENCLATURE :

Résistances :

$$R_{65} = R_{70} = 1,8 \text{ K}\Omega$$

$$R_{80} = 68\Omega$$

$$R_{75} = 1 \text{ K}\Omega$$

Capacités

$$C_{110} = C_{115} = 100 \mu\text{F} (16 \text{ V})$$

$$C_{125} = C_{120} = 300 \mu\text{F} (25\text{V})$$

Diodes :

$$D_3 = D_4 = 1\text{ZS } 12 \text{ A (PL } 12\text{Z)}$$

$$D_5 = D_6 = D_7 = D_8 = 1\text{N } 4001$$

Diode indic. accord

**Diode. Arrêt marche**

## **II- Montage :**

Le montage s'effectue sur un circuit imprimé dont la sérigraphie des pistes de cuivre est donnée par la figure ci-joint

On procède à la mise en place des différents éléments en respectant l'ordre logique habituellement adopté dans ce genre de réalisation. On veillera particulièrement à l'orientation exacte des composants polarisés, condensateur électrochimique, diodes, transistors et circuits intégrés.

Au cours d'une seconde phase, on procède à la mise en place des bobines L1, L2 et L3 comme le montre la figure 5 (L1 est marquée d'un point marron, L2 d'un point bleu, L3 d'un point orange)

Les bobines sont enfilées par pression dans les trous du circuit imprimé en respectant les points de repère et en veillant à la correcte introduction des extrémités.

Montrer ensuite le condensateur variable.

Sur le coté cuivre, mettre en place les différents strapes, comme le montre la figure ci-joint, ainsi que les trimmers C65, C55, C25.

On terminera par la mise de placer les différents accessoires sur le panneau frontal et sur le panneau arrière, puis enfin par les différentes opérations de câblage qui sont très limitées.

## **III- Tarage et vérification :**

Pour l'exécution de l'alignement du récepteur, il est possible d'utiliser plusieurs méthodes, selon l'appareillage dont on dispose. L'étalonnage consiste en une série d'opération à suivre fidèlement : Alignement des étages moyenne fréquence avec tarage du filtre de couplage FI et de la ligne de déphasage du détecteur. Ensuite, alignement des étages hauts fréquence, avec réglage de la fréquence de l'oscillateur local de manière que celle-ci diffère de la fréquence d'entrée de la valeur 10,7 MHz exactement. Enfin, il sera nécessaire de régler le décodeur stéréo

Méthode de tarage :

Le système de tarage le plus simple fait appel à un générateur FM et un millivoltmètre courant alternatif.

Pour commencer, après avoir régler le générateur sur la fréquence de 10,7Mhz et la modulation à 30% égale à  $\Delta F$  22,5Khz, le connecter à l'entrée des étages FI (base de Tr2) par l'intermédiaire d'un condensateur de 10 nF. Le millivoltmètre sera connecté à la prise de sortie démodulée, c'est-à-dire entre la masse et la borne 3 ou 5 de la prise L.F.OUTPUT ; Régler L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>, L<sub>6</sub> pour le maximum de sortie. L'atténuateur du générateur sera progressivement inséré au fur et à mesure qu'on avance dans l'alignement, de manière à éviter l'intervention du limiteur. Dans le même temps, on devra constater une élévation de luminosité de la diode LED TUNING.

Pour le réglage des bobines, on utilise un tournevis non inductif.

On répète les opérations d'alignement plusieurs fois jusqu'à l'obtention des meilleurs résultats. En suite, on connecte le générateur(en supprimant le condensateur de 10 nF),

**réglé sur 88MHz, à la prise antenne du tuner, qui sera à son tour réglé sur 88Mhz, c'est-à-dire avec le condensateur complètement fermé.**

**On règle ensuite les noyaux des bobines  $L_3$ ,  $L_2$  et  $L_1$  de manière à obtenir la déviation maximale du millivoltmètre. Porter le condensateur variable d'accord sur la graduation 108 Mhz du cadran et régler la fréquence du générateur à cette même valeur.**

**L'alignement doit alors être exécuté en réglant les trimmers capacitifs  $C_{65}$ ,  $C_{55}$  et  $C_{25}$  au maximum de sortie. Répéter l'opération plusieurs fois, tant à 88 qu'à 108Mhz afin d'obtenir les meilleurs résultats.**

**Tarage de décodeur :**

**Le meilleur système de tarage consiste à régler  $P_2$  jusqu'à l'obtention d'une fréquence de 19 KHz au point de sortie 19 KHz.**

**Un autre procédé qui n'exige pas d'instrument permet une bonne séparation des canaux. Cette méthode consiste simplement à accorder le récepteur sur une station stéréo et à ajuster  $P_2$  de manière que l'indicateur LED STEREO s'illumine. Pour trouver le centre de la plage de synchronisation, on tourne  $P_2$  en avant et en arrière et on règle le curseur dans une position moyenne entre les deux extrémités.**

**On connecte alors un amplificateur stéréo basse fréquence présentant de bonnes caractéristiques à la sortie L.F. OUTPUT, et l'ensemble est alors prêt à fonctionner, après avoir réglé  $P_3$  et  $P_4$  pour le meilleur équilibre des canaux et pour la meilleure adaptation de l'amplitude de signal de sortie.**

## **IV- Outillage :**

**Les réglages à effectuer pour l'alignement de circuits de radio nécessitent un outillage spécialisé. Pas question d'introduire un tournevis métallique dans le mandrin d'une bobine : les mesures seraient faussées, et le poste de radio fonctionnerait probablement encore plus mal qu'avant la tentative de réglage. Des outils de réglage ont été spécialement conçus pour effectuer les opérations d'alignement. La figure suivante montre quelques-uns des nombreux outils d'alignement.**

## CONCLUSION

Ce travail, nous a mené à mieux comprendre la radiocommunication et l'électronique analogique.

En premier lieu l'émission réception et le principe de décodage stéréophonique. En second lieu la maîtrise d'électronique qui se manifeste par l'étude sur les mélangeurs, oscillateur, filtres etc.

En effet, il apparaît clairement que le récepteur est l'étage le plus complexe et le plus délicat de cette chaîne de transmission. Il est malheureusement impossible d'optimiser simultanément tous les paramètres, facteur de bruit, sensibilité, plage de couverture, réponses parasites. Le choix d'une structure et des performances demandées à chaque étage résulte d'un compromis.

Bien qu'il est modeste, ce projet, nous ait permis de tester, d'appliquer et de développer notre savoir faire en matière d'électronique, nous avons acquis au cours de sa réalisation une expérience assez fondée et très enrichissant :

- \*la mise en œuvre par un logiciel.

- \*la confection des circuits imprimés.

- \*les tests sur les différents étages.

En perspective, nous pouvons dire qu'il est très intéressant de développer d'avantages les résultats aux quels on est parvenu. En effet, on peut introduire des améliorations sur le récepteur FM et surtout l'utilisation des circuits intégrés au niveau du tuner pour améliorer le signal à l'entrée du récepteur, un afficheur digital peut aussi améliorer la qualité d'un récepteur de point de vue esthétique.

Nous espérons bien que ce modeste travail ait une utilité théorique et pratique sur nos successeurs, et nous espérons qu'ils tiennent compte des améliorations sur les récepteurs FM.

# BIBLIOGRAPHIE

Robert Du Bois

Structure et applications des émetteurs et des récepteurs

Edition décembre 1995

François de Dieuleveult

Electronique appliquée aux hautes fréquences

Edition mai 1999

Joseph J. Carr

Réception des hautes fréquences (volume I)

Edition août 1997

Joseph J. Carr

Réception des hautes fréquences (volume II)

Edition Juin 1998

CH. Dardevelle

Techniques HI-FI

Edition 1976

Rene Besson

Technologie des composants électroniques

Edition 1987

# Titre de projet : Récepteur FM stéréophonique

## Résumé

Le travail proposé dans ce mémoire de projet de fin d'étude s'intéresse à la réception radiophonique et plus précisément à la réception radiophonique FM stéréo.

La réalisation de ce travail a fait appel tant au niveau théorique que pratique à un certain nombre de notions dont notamment :

- Les définitions et règles de base en radiofréquence.
- Les systèmes et techniques de modulation et de démodulation.
- Electronique des composants passifs et actifs en radiodiffusion (leurs limites et applications)
- Les techniques d'adaptation d'impédance pour l'interconnexion des étages.
- Structure et synoptique des récepteurs stéréo.
- Loin de prétendre l'exhaustivité, ce mémoire comporte également un certain nombre de techniques et procédés relatifs à la conception, à la construction, aux mesures, tests et réglages des circuits et montages HF utilisés en radiofréquence.

### **Les mots clés :**

Récepteur FM, amplificateur HF, amplificateur BF, mélangeur, fréquence intermédiaire, démodulateur hétérodyne, décodeur stéréophonique.

---