

La transmission des signaux

• La télécommunication

On appelle télécommunication toute transmission électronique d'information (son , image,) à distance

Exemples : - Communiquer en téléphone avec une personne très loin
- Capter des émissions radio et télévisées

• Transport de l'information

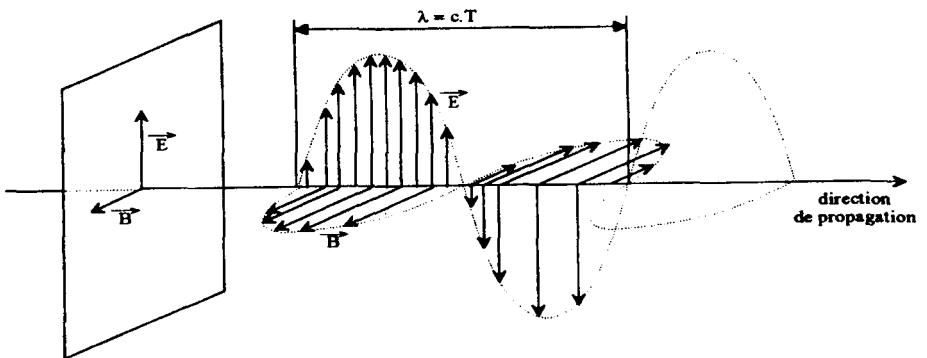
➤ La communication nécessite un support de très grande portée afin de transmettre l'information (la communication par voix humaine est impossible)

➤ Les ondes électromagnétiques sont des ondes de très grande portée pouvant se propager à grande distance. ils constituent donc de bons véhicules transmetteurs de l'information, elles sont utilisées comme support de transmission de l'information

➤ L'onde électromagnétique est appelée onde porteuse

• L'onde électromagnétique

➤ C'est une onde qui résulte d'un champ électrique et d'un champ magnétique reliés, et qui se propagent simultanément.



✓ L'onde électromagnétique se propage dans le vide et dans les milieux matériels avec une célérité $C = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ dans le vide et $\dot{V} = \frac{C}{n}$ dans un milieu matériel d'indice n

• Principe de la transmission

Pour transporter une information contenue dans un signal électrique Il est donc nécessaire d'utiliser un autre signal de fréquence très élevée appelé « **onde porteuse** ». Cette onde porteuse est modifiée de manière à contenir les informations à transmettre : c'est la **modulation**

Celle-ci met en jeu :

- ✓ Un signal à transmettre : signal modulant de BF
- ✓ Une porteuse : L'onde ELM : signal de HF à moduler

• Onde lumineuse et onde Hertzienne

➤ Onde Lumineuse

Ce sont des ondes dont les fréquences varient entre $3 \cdot 10^{11}$ Hz et $3 \cdot 10^{16}$ Hz

Le spectre lumineux contient 3 domaines :

- ✓ Le domaine visible : $4 \cdot 10^{14}$ Hz $< N < 7,5 \cdot 10^{14}$ Hz
- ✓ L'infra rouge : $N < 4 \cdot 10^{14}$ Hz
- ✓ L'ultra violet : $N > 7,5 \cdot 10^{14}$ Hz

Fréquence (10^{14} Hz)	4	4,9	5,1	5,3	6	6,7	7,5
couleur	Rouge	Orangé	jaune	vert	bleu	violet	
λ_0 (nm)	750	610	590	570	500	450	400

➤ Ondes Hertziennes :

- ✓ Ce sont des ondes électromagnétiques de fréquences comprises entre 10^5 Hz et $3 \cdot 10^{11}$ Hz
- ✓ Elles couvrent une bonne partie du spectre électromagnétiques, leurs importance réside dans la diversité de leurs domaines d'application : télécommunications ; radiodiffusion ; télévision ; radar.....
- ✓ Elles se propagent dans l'espace libre (air ou vide) ou dans les lignes (câbles coaxiaux ; fibres optiques)
- ✓ Gamme de fréquence des ondes hertziennes, leurs catégories et leurs utilisations :

Type	Fréquence	Longueur d'onde	catégories	Utilisations
Ondes Hertziennes ou de télécommunications	$1,5 \cdot 10^4$ à 10^4 Hz	20 à 5 km	Ondes très longues (VLF)	téléphone
	$6 \cdot 10^4$ à $3 \cdot 10^5$ Hz	5 à 1 km	Ondes longues (LF)	radiodiffusion , téléphone
	$3 \cdot 10^5$ à $3 \cdot 10^6$ Hz	1 km à 100 m	Ondes moyennes (MF)	radiodiffusion
	$3 \cdot 10^6$ à $3 \cdot 10^7$ Hz	100 à 10 m	Ondes courtes (H.F)	radiodiffusion
	$3 \cdot 10^7$ à $3 \cdot 10^8$ Hz	10 à 1 m	Ondes métriques (VHF)	télévision
	$3 \cdot 10^8$ à $3 \cdot 10^9$ Hz	1m à 10 cm	Ondes décimétriques (UHF)	Radar ; télévision ; faisceau Hertzien
	$3 \cdot 10^9$ à 10^{11} Hz	10 à 0,3 cm	Ondes centimétriques (SHF)	Radar ; faisceau Hertzien

• Emission et réception :

➤ Rôle d'une antenne :

L'atténuation de l'énergie de l'onde électromagnétique dans un conducteur se fait au bénéfice de l'apparition d'un courant de surface. On obtient ainsi un signal électrique à partir d'une onde électromagnétique dans une antenne. L'onde engendre un signal électrique de même fréquence.

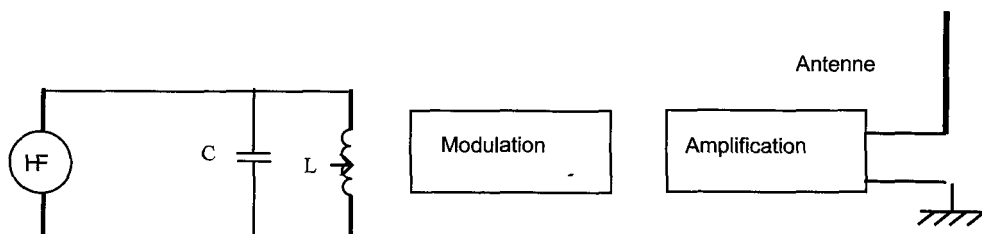
Réciproquement, la circulation d'un courant électrique dans un conducteur génère une onde électromagnétique. L'antenne peut donc également émettre. L'onde émise a la même fréquence que celle du signal électrique qui lui est transmis.

➤ Principe de l'émission et de la réception :

Un générateur haute fréquence HF appliqué à un circuit oscillant y fait circuler un courant de haute fréquence . ce courant est modulé (grâce à un dispositif de modulation) par le signal à transmettre , puis amplifié

Une antenne émettrice constituée d'une tige conductrice de longueur ℓ est accordée sur la fréquence du signal modulé (courant de HF). Celui-ci excite les électrons de l'antenne qui se mettent à vibrer à Haute fréquence et rayonnent de l'énergie électromagnétique dans l'espace sous forme d'une onde Hertzienne

L'énergie rayonnée est maximale pour une longueur $\ell = \frac{\lambda}{2}$ (antenne demi onde)



La réception s'effectue par une antenne réceptrice liée à un circuit d'accord (filtre qui sélectionne l'onde porteuse et élimine les autres ondes indésirables) L'onde captée provoque dans l'antenne des oscillations électriques similaires aux oscillations provoquées dans l'antenne émettrice, donc engendre dans le circuit d'antenne, un courant HF qui reproduit fidèlement les particularités du courant modulé produit dans le poste émetteur. Ce courant est par la suite démodulé pour reconstituer le signal transmis.

• LA MODULATION D'AMPLITUDE

➤ Nécessité d'une modulation

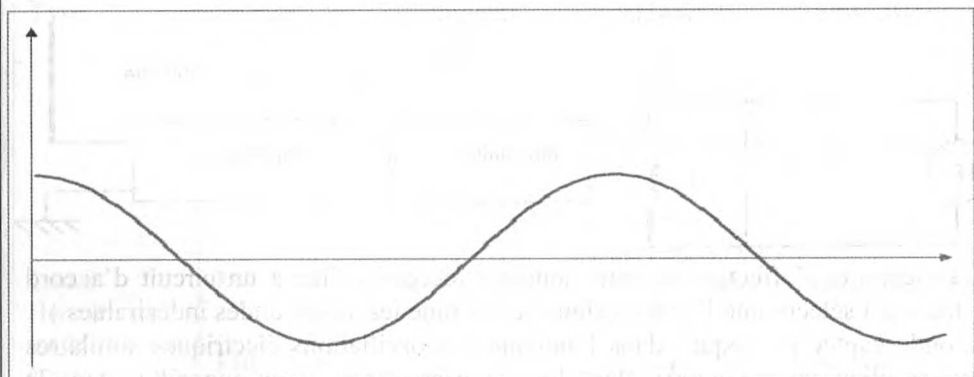
Les informations que l'on transmet par ondes hertziennes (paroles, musiques, images) correspondent à des signaux dont les fréquences sont de l'ordre du **kilohertz** (de 20 Hz à 20 kHz pour les ondes sonores) . Ces signaux **basses fréquences (BF)** ne peuvent être émis directement car plusieurs problèmes se posent:

- ✓ la propagation des ondes BF se fait sur de faibles distances car ils sont fortement amortis.
- ✓ le brouillage des informations à transmettre à cause de signaux parasites (signaux industriels à 50 Hz) ou des signaux de même fréquence émis par des stations différentes.
- ✓ dimensions des antennes de réception de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ des signaux à transmettre: ($\lambda = \frac{c}{N} = C.T = \frac{3.10^8}{10^3} = 3.10^5 \text{ m} = 300 \text{ km}$).

Ainsi, l'idée de transmettre des informations par une **onde de fréquence élevée** est naturellement apparue. Les informations sont alors **inscrites ou modulées** dans une onde de **haute fréquence (HF)**.

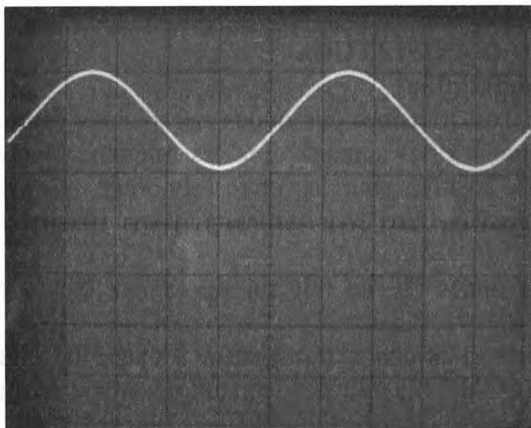
➤ Principe de la modulation d'amplitude :

- ✓ Soit le signal $u(t) = U_m \cos(2\pi f t)$ est l'information à transmettre : C'est la tension modulante

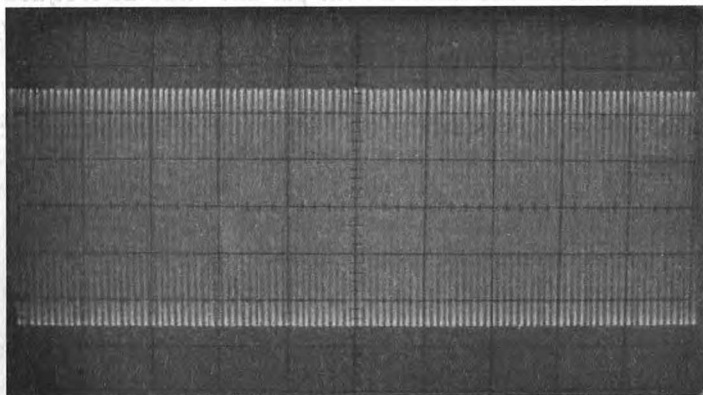


✓ On ajoute au signal à transmettre une tension constante U_0 .

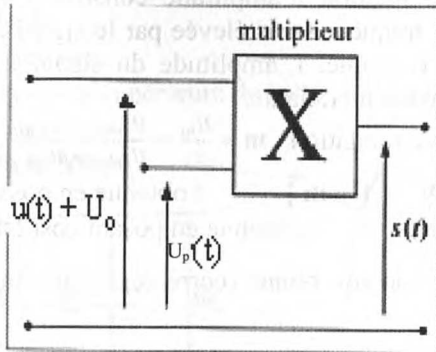
$$u_1(t) = U_m \cos(2\pi f t) + U_0$$



✓ grâce à une porteuse $u_p(t) = U_{pm} \cos(2\pi F t)$, on va transmettre le signal $u_1(t)$. La tension $u_p(t)$ est le signal modulé



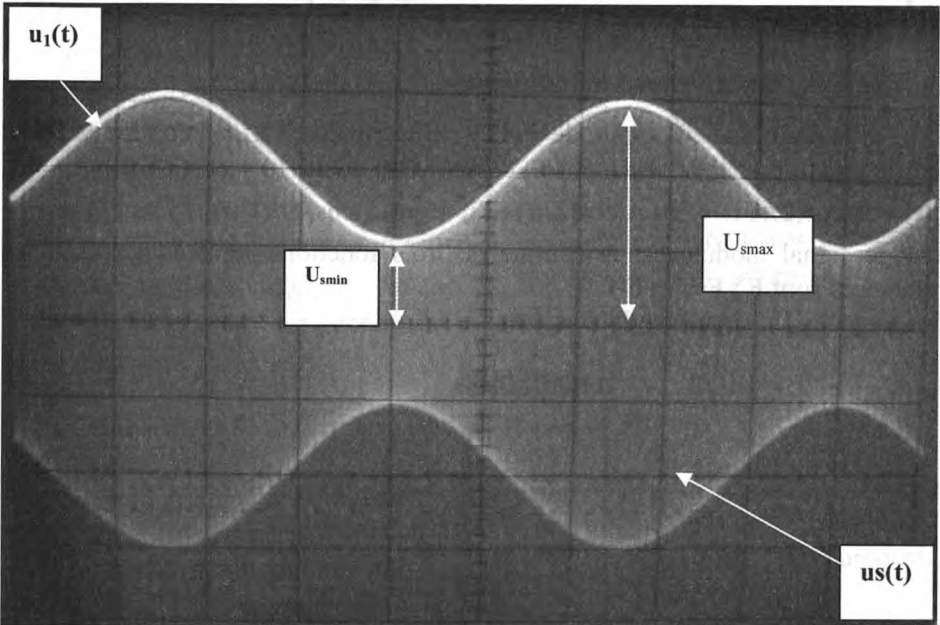
✓ Grâce à un multiplieur on émet le signal $u_s(t) = k u_p(t). u_1(t)$ (k dépendant du circuit utilisé pour la multiplication)



✓ $u_s(t) = k.[U_m \cos(2\pi f t) + U_0].[U_{pm}\cos(2\pi F t)]$

$u_s(t) = kU_{pm}U_0[\frac{U_m}{U_0} \cos(2\pi f t)+1].\cos(2\pi Ft)$. En posant $m = \frac{U_m}{U_0}$ et $A = kU_{pm}U_0$

$u_s(t) = A.[m.\cos(2\pi f t)+1].\cos(2\pi Ft)$



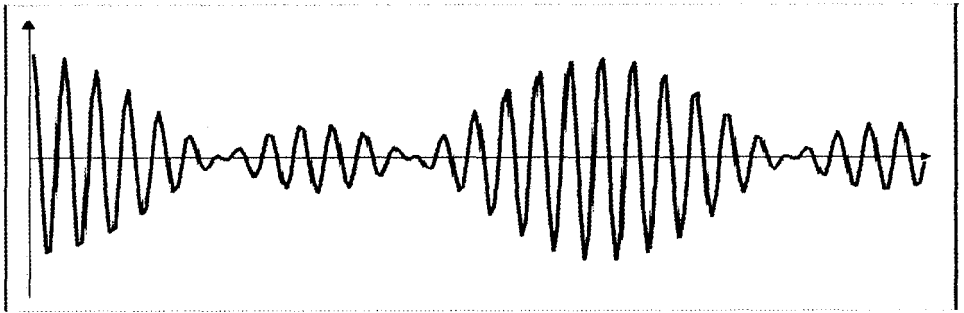
✓ La courbe **enveloppe** supérieure reproduit alors la forme de la **tension modulante**.

✓ **Conclusion** : La modulation d'amplitude consiste à modifier l'amplitude d'une onde porteuse de fréquence très élevée par le signal à transmettre, auquel on ajoute une tension continue. L'amplitude du signal modulé est alors une fonction affine de la tension modulante.

✓ On définit le taux de modulation : $m = \frac{U_m}{U_0} = \frac{U_{smax} - U_{smin}}{U_{smax} + U_{smin}}$.

Avec $U_{smax} = A \times [1 + m]$ (obtenue en posant $\cos(2\pi \cdot f \cdot t) = 1$)
 $U_{smin} = A [1 - m]$ (obtenue en posant $\cos(2\pi \cdot f \cdot t) = -1$)

✓ Pour que la modulation soit bonne (correcte) il faut que $m < 1$ sinon il y a surmodulation :



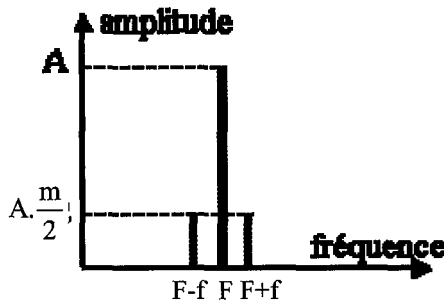
Analyse spectrale du signal modulé $u_s(t)$

✓ Le signal modulé en amplitude $u_s(t) = A \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi f \cdot t)] \cdot \cos(2\pi F \cdot t)$ peut s'écrire en utilisant la relation: $\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$.

$$u_s(t) = A \cos(2\pi F t) + \frac{1}{2} m \cdot A \cdot \cos[2\pi(f+F)t] + \frac{1}{2} m \cdot A \cdot \cos[2\pi(F-f)t]$$

donc le signal module est la somme de trois fonctions sinusoïdales dont les fréquences sont F ; $F+f$ et $F-f$

✓ Le spectre du signal modulé est alors :

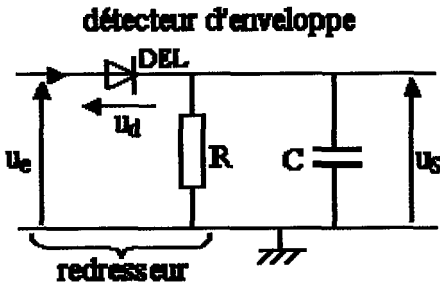


• LA DEMODULATION :

✓ La démodulation consiste à récupérer le signal transmis modulant "caché" dans la tension modulée.

➤ Détection d'enveloppe :

✓ L'enveloppe est la partie supérieure de la tension modulée en amplitude.

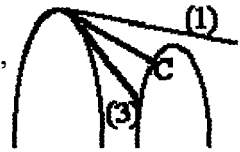


✓ La première partie est un montage redresseur. La diode ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Cela élimine la partie négative de la tension. En y ajoutant un condensateur C, on élimine les variations rapides de la tension dues à la porteuse.

✓ Le condensateur initialement déchargé se charge tant que u_e croît jusqu'au maximum, avec une constante de temps τ_C quasi nulle. Lorsque u_e décroît, $u_C > u_e$, la diode est bloquée, le condensateur se décharge dans la résistance avec une constante de temps $\tau_D = R.C$ grande par rapport à la période T_P de la porteuse (si R et C sont bien choisis).

✓ Lorsque u_e atteint de nouveau u_C , la diode est à nouveau passante et le condensateur se charge.

✓ Plus le point C est proche du sommet de la crête, meilleur est le détecteur.



La courbe obtenue suit mieux l'enveloppe de la tension modulée.

Si le condensateur se décharge trop lentement (1) (τ_D trop grande), la courbe ne suit plus l'enveloppe et le condensateur se charge quelques crêtes plus loin.

Si le condensateur se décharge trop vite (3) (τ_D trop petite), la courbe est trop dentelée.

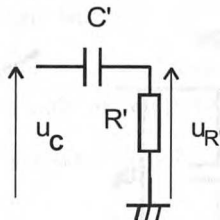
Pour obtenir une démodulation de qualité, il faut que la constante de temps τ du dipôle RC soit très supérieure à la période T_P de la porteuse, en restant inférieure à la période T_S du signal modulant.

$$T_P \ll \tau < T_S \quad \text{ou} \quad f_s < 1/\tau_D \ll F_P$$

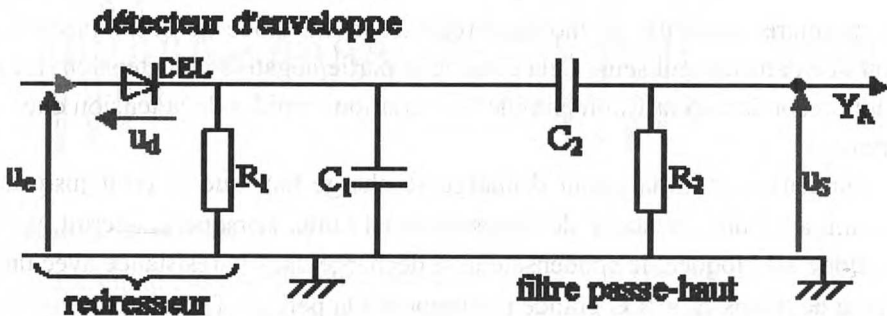
A la sortie du détecteur d'enveloppe, la tension a encore une composante continue due à la tension de décalage utilisée lors de la modulation, qu'il faut supprimer.

➤ **Elimination de la composante continue U_0 :**

Pour éliminer la composante continue. On ajoute pour cela en bout de chaîne **un filtre CR série, ou filtre passe-haut.**



Le circuit complet permettant alors de récupérer le signal portant l'information est :

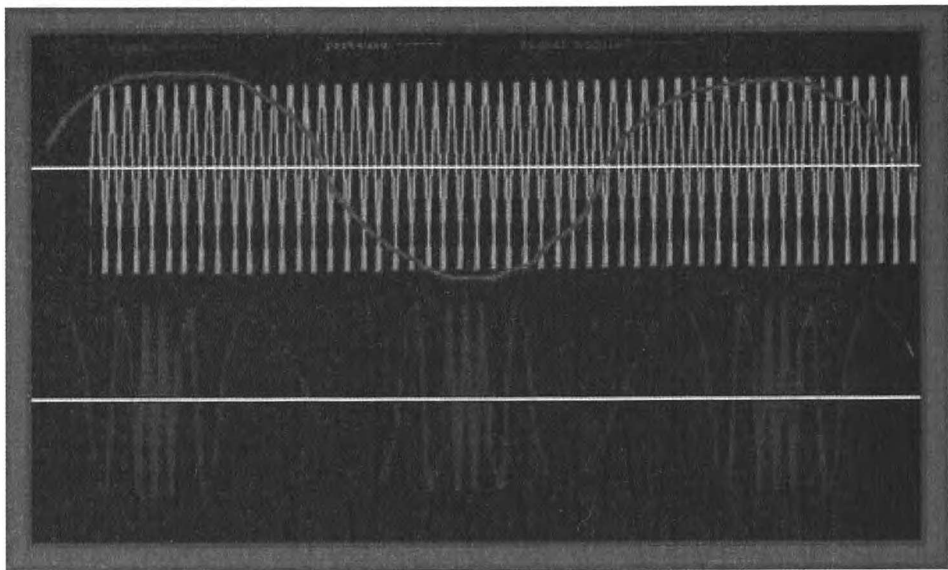


Le condensateur C_2 élimine la composante continue de la tension.

Modulation de fréquence

La **modulation de fréquence** ou **MF** ou **FM** est un mode de modulation consistant à transmettre un signal par la modulation de la fréquence d'un signal porteur (porteuse).

On parle de modulation de fréquence par opposition à la modulation d'amplitude. En modulation de fréquence, l'information est portée par une modification de la fréquence de la porteuse, et non par une variation d'amplitude. La modulation de fréquence est plus robuste que la modulation d'amplitude pour transmettre un message dans des conditions difficiles (atténuation et bruit importants).



Un exemple de modulation de fréquence. En haut, le signal (en rouge) superposé avec la fréquence porteuse (en vert). En bas, le résultat du signal (en bleu) une fois modulé par la fréquence.

Pour des signaux numériques, on utilise une variante appelée frequency-shift keying ou FSK. La FSK utilise des fréquences discrètes.

Exemples d'appareils utilisant la modulation de fréquence :

- les modems (**m**odulateur-**d**emodulateur) bas débit utilisent la modulation de fréquence ;
- les téléphones analogiques utilisent la modulation de fréquence pour composer le numéro : chaque chiffre est codé par une combinaison de deux fréquences pour former un code DTMF. Il s'agit d'une modulation FSK qui utilise plus de deux fréquences (MFSK, multiple frequency-shift keying) ;
- les radios de la « bande FM » émettent, comme leur nom l'indique, en modulation de fréquence sur la bande VHF II.

a) Un peu de théorie :

Tout signal modulé peut se mettre sous la forme: $s(t) = S(t) \cdot \cos(\theta(t))$

- $S(t)$ est l'amplitude instantanée
- $\theta(t)$ est la phase instantanée.

Dans le cas de la modulation de fréquence et lorsque le signal modulant est sinusoïdal $s(t)$ est de la forme : $s(t) = A_o \cos(2\pi F_o t + m \sin 2\pi f t)$
 f est la fréquence du signal utile.

F_o est la fréquence du signal porteur.

m est l'indice de modulation.

$m = \frac{\Delta f}{f}$; Δf est appelé excursion en fréquence

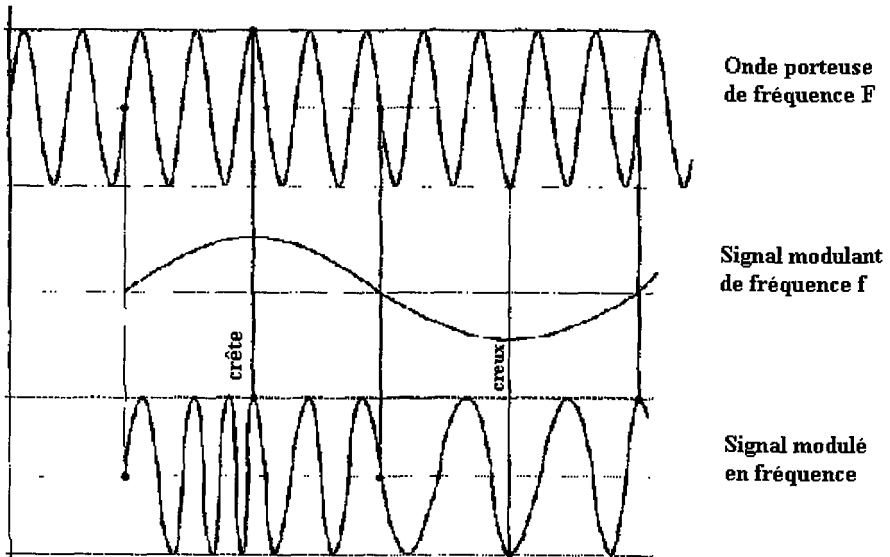
Exemple : Soit le signal FM $s(t) = 120 \cos(6 \cdot 10^8 t + 5 \sin 1250t)$; on aura

$$F_o = 95,5 \text{ MHz}$$

$$f = 199 \text{ Hz}$$

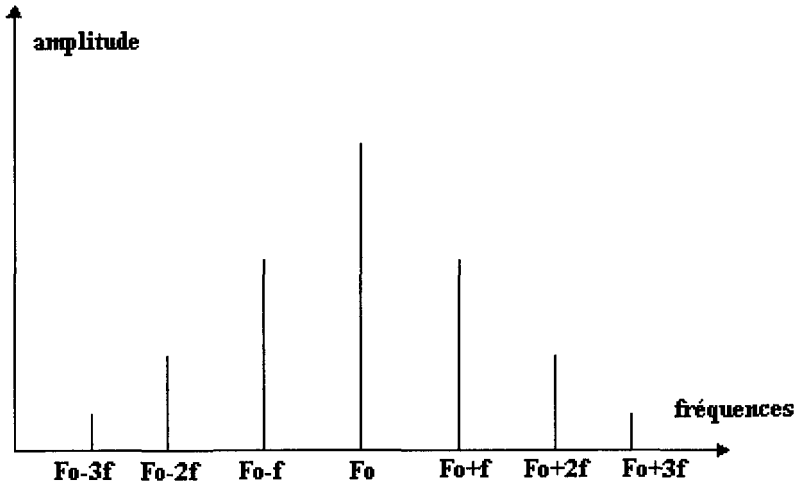
$$m = 5$$

$$\Delta f \sim 995 \text{ Hz}$$



Analyse spectrale :

Le spectre du signal est une suite de raies espacées de f , symétriques par rapport à la fréquence centrale F_o .



Signalons enfin qu'ils existent deux types de modulation de fréquences qui sont :

- NFM (Narrow Frequency Modulation) qui est une modulation de fréquence sur une bande étroite de 5 kHz. C'est ce type de modulation qui est utilisé en radiocommande.
- WFM (Wide Frequency Modulation) qui est une modulation de fréquence à large bande de l'ordre de 100 kHz. Ce type de modulation est utilisé par les stations de radiodiffusion, pour la transmission du son qui nécessite une bande passante de 15 kHz et pour les possibilités de transmission en stéréophonie. Cette large bande s'explique par le fait qu'il est nécessaire de transmettre, sous forme de balayage en fréquence, la fréquence et l'amplitude du signal.