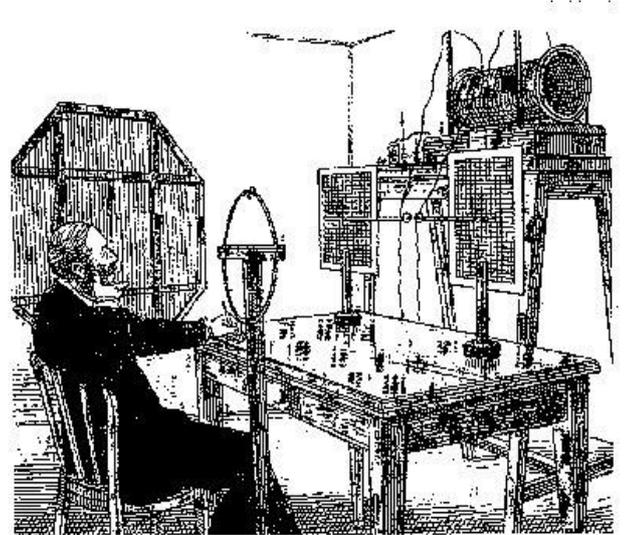


Les développements théoriques sur ces ondes sont dus à James-Clerck MAXWELL vers 1870.
 Les premières vérifications expérimentales furent réalisées par Heinrich HERTZ qui réussit, en 1887, à émettre des ondes et à les détecter à 20 mètres de leur point d'émission.

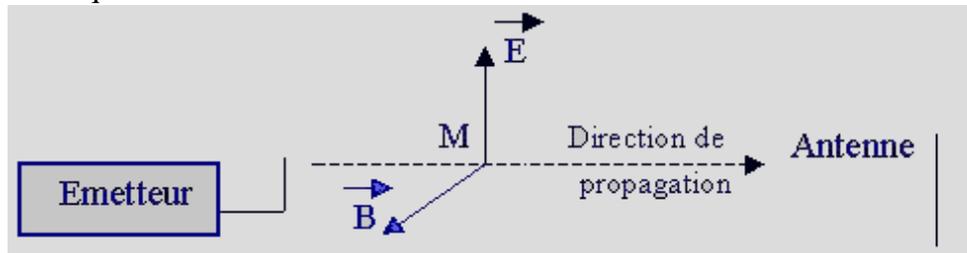
Edouard BRANLY, vers 1890, puis Guglielmo MARCONI vers 1895 et Alexandre POPOV en 1896, réussirent à transmettre, sans fil, des signaux télégraphiques (d'où le nom de T.S.F., télégraphie sans fil).
 En 1901, MARCONI envoya un message téléphonique à travers l'atlantique.
 Dans les années 1940, la technique de diffusion des sons s'étendit à la diffusion des images et donna naissance à la télévision.



1. Quelques généralités sur les ondes

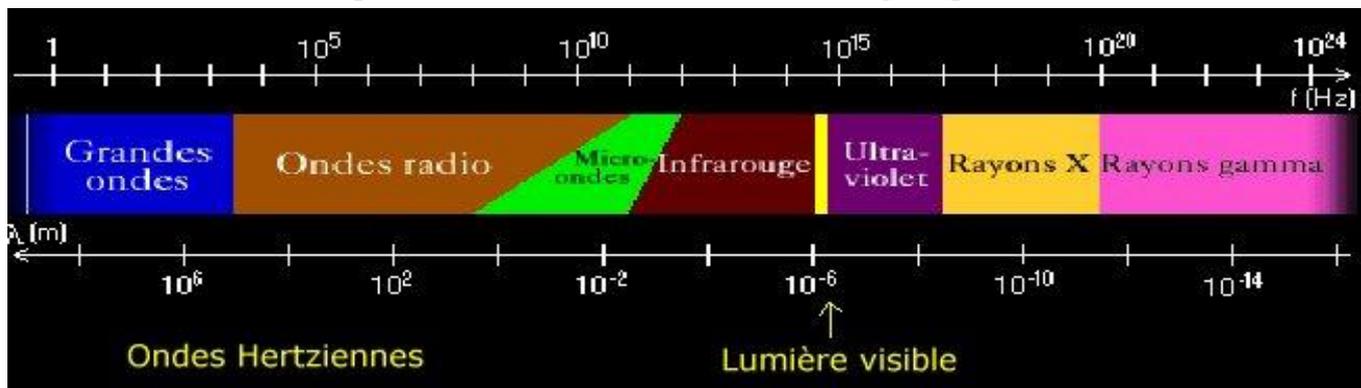
La vitesse de propagation C des ondes électromagnétiques dans le vide et également dans l'air est voisine de 300000 km/s .

En tout point M atteint par l'onde existent un champ électrique E vertical et un champ magnétique B horizontal, ces deux champs sont perpendiculaires à la direction de propagation $x'x$, et varient de manière périodique avec une période T et une fréquence f .



La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période du phénomène vibratoire.

Les ondes hertziennes font partie de l'ensemble des ondes électromagnétiques :



La dimensions des antennes est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ ($\lambda/4$ par exemple)

Exemple: $f_1 = 20 \text{ k HZ}$; $f_2 = 200 \text{ MHz}$ Calculer les longueurs d'onde associées.

$\lambda_1 =$

$\lambda_2 =$

2. Nécessité de moduler une onde porteuse HF

En radiodiffusion, les informations à transmettre sont des signaux électriques dont les fréquences correspondent à des vibrations sonores (signal donné par un micro, musique), c'est à dire des fréquences comprises entre Hz etHz.

Mais on ne peut pas transmettre directement par voie hertzienne ces signaux de basse fréquence, il est nécessaire d'utiliser ces signaux BF pour moduler une onde "porteuse" de haute fréquence.

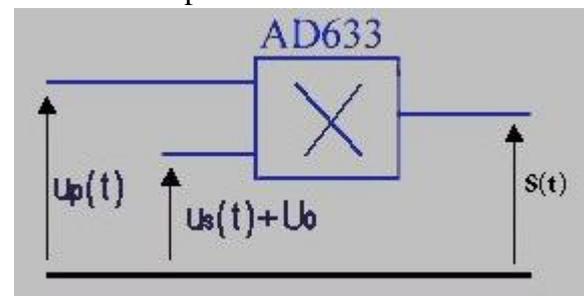
Les trois principales raisons sont les suivantes:

- La portée de l'émission est plus grande en haute fréquence.
- L'émission d'une onde basse fréquence (inférieure à 20 kHz) nécessiterait une antenne très grande.
- Le problème du choix, au niveau du récepteur, entre toutes les ondes reçues par l'antenne réceptrice.

3. Modulation d'amplitude

On module un signal haute fréquence $u_p(t)$ par un signal $u_s(t)$ avec un circuit multiplieur.

Afin qu'il n'y ait pas de déformation du signal (ce que l'on appelle la surmodulation), il est important que le signal modulant garde le même signe (par exemple tout le temps positif). Pour cela, on superpose le signal BF que l'on veut transmettre à une tension continue U_0 .



On a alors à la sortie $s(t) = k \cdot u_p(t) \cdot [u_s(t) + U_0]$
k étant un coefficient caractéristique du multiplieur (k = 0.1 pour le circuit AD633)

1.1. Réglages des GBF

GBF1 associé au signal porteur haute fréquence $u_p(t)$:

Amplitude: $U_{pm} = 5 \text{ V}$
Fréquence: **F1 = 10 kHz.**

GBF2 associé au signal à transmettre décalé $u_s(t) + U_0$:

Amplitude: $U_{sm} = 1 \text{ V}$
Fréquence: **f2 = 1 kHz .**
Tension de décalage: **$U_0 = 2 \text{ V}$** (bouton « offset » du GBF1).
Rmq: le réglage de U_0 se fait avec un voltmètre en mode continu.

1.2. Obtention du signal modulé en amplitude $s(t)$

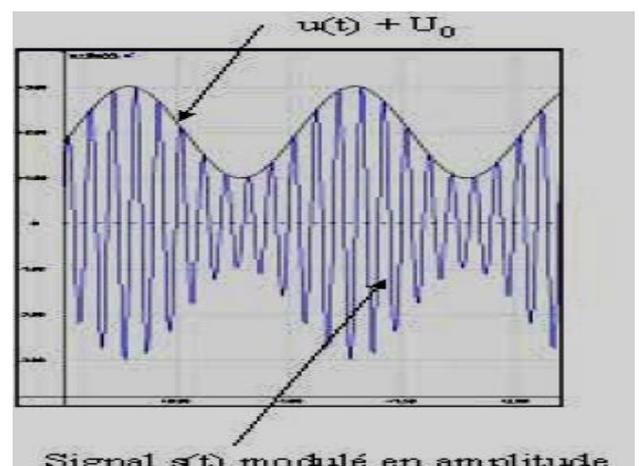
Envoyer les signaux sur les 2 entrées du multiplieur.
Alimenter le multiplieur.

1.3. Aquisition

$U_p(t)$ sur la voie **EA0**

$u_s(t) + U_0$ entre la voie **EA1**

Envoyer la sortie du multiplieur sur **EA2**



1.4. Étude du signal modulé s(t)

L'amplitude du signal modulé s(t) oscille entre deux valeurs extrêmes: **S_{max}** et **S_{min}**
 On peut retrouver la valeur du taux de modulation **m** par analyse du signal modulé **s(t)**.

Le taux de modulation **m** est défini par:
$$m = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}}$$

a) Déterminer la valeur de **S_{max}** et **S_{min}** et calculer **m** pour le signal **s(t)**.

c) Modifier la fréquence F à **F = 2 kHz**: l'amplitude de **s(t)** épouse-t-elle encore le signal **u(t) + U₀** ?

d) Quelle inégalité forte doit-on alors avoir entre **f** et **F** pour avoir une modulation de bonne qualité ?

On considère les 3 cas suivants:

- $U_0 > U_m$ avec $U_0 = 2 \text{ V}$ $U_m = 0,5 \text{ V}$ (sous-modulation)
- $U_0 = U_m$ avec $U_0 = 2 \text{ V}$ $U_m = 2 \text{ V}$
- $U_0 < U_m$ avec $U_0 = 1 \text{ V}$ $U_m = 2 \text{ V}$ (sur-modulation)

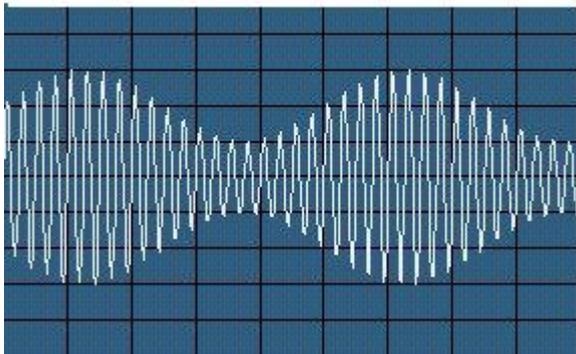
a) Calculer **m** dans chacun des cas.

b) Faire les réglages demandés pour chacun des cas et les acquisitions.

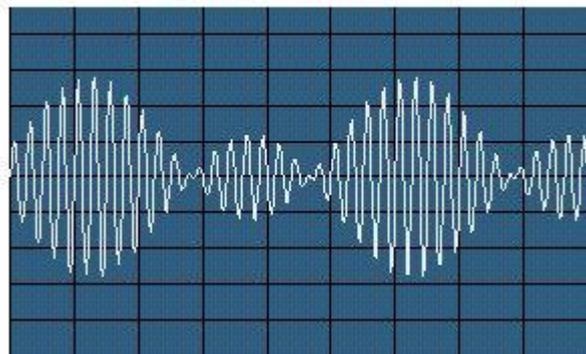
c) La modulation est de bonne qualité l'enveloppe de **s(t)** est identiques au signal informatif décalé: **u(t) + U₀**. Dans quel cas la modulation d'amplitude est-elle la meilleure ? Quelle inégalité sur **m** cela entraîne-t-il ?

d) Quelles conditions sur le taux de modulation et les fréquences doit-on satisfaire pour avoir une bonne modulation d'amplitude ?

Modulation



Surmodulation



pour que la modulation soit réussie, il faut que l'enveloppe du signal modulé suive exactement la forme du signal modulant.

1.5. Analyse spectrale du signal modulé s(t)

en développant l'expression $s(t) = u_p(t) \cdot [u_s(t) + U_0]$

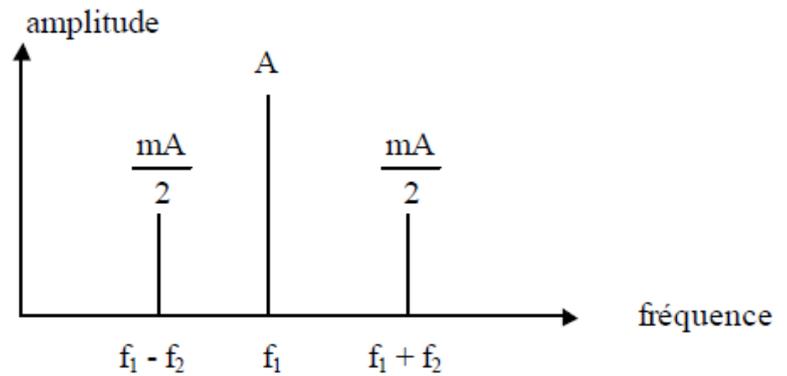
$$= U_{pmax} \cdot \cos(w_p t) \cdot [U_{smax} \cdot \cos(w_s t) + U_0]$$

On obtient alors:

$$s(t) = U_0 U_{pmax} \cos(w_p t) + \frac{1}{2} U_{smax} U_{pmax} \cos[(w_p - w_s)t] + \frac{1}{2} U_{smax} U_{pmax} \cos[(w_p + w_s)t]$$

c'est à dire la somme de 3 fonctions sinusoidales de fréquences f_p , $f_p - f_s$ et $f_p + f_s$

- Menu: **Traitement Analyse de Fourier**: choisir le signal $s(t)$ et **Totalité**.
- Vérifier que le spectre obtenu est voisin de celui-ci :



- Avec l'icône Réticule déterminer l'amplitude de la raie centrale, notée A
- Avec l'icône Réticule déterminer l'amplitude de la raie centrale, notée A , et sa fréquence: quelle fréquence retrouve-t-on ?
- Déterminer l'amplitude des raies latérales et leurs fréquences. De quelle fréquence sont séparés les raies latérales de la raie centrale ?
- Comparer l'amplitude des raies latérales à $A \cdot m / 2$. Conclure.

1.6. Conséquence importante: largeur d'un canal en radio AM

Un son complexe (contenant des fréquences allant jusqu'à $f_{smax}=15$ kHz) transmis par modulation d'amplitude donnera un signal dont le spectre contiendra des raies de fréquences comprises entre

$f_p - f_{smax}$ et $f_p + f_{smax}$

La "largeur de bande" ou largeur de canal nécessaire serait donc théoriquement de 30 kHz

En réalité, on a choisi pour chaque station radio une largeur de bande de 9 kHz, ce qui limite la qualité des sons transmis en modulation d'amplitude.

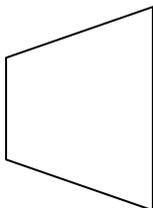
(En grandes ondes, les fréquences des porteuses de deux stations "voisines" en fréquence, France Inter et Europe 1 sont respectivement de 162 kHz et 171 kHz).

1.7. Qualité de la modulation:

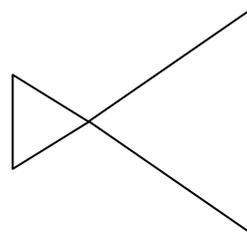
Elle peut être visualisée à l'aide d'un oscilloscope utilisé en mode "XY" par la "méthode du trapèze".

On envoie sur la voie (1) le signal modulant $u_s(t)$ et sur la voie(2) le signal modulé $u_m(t)$

On obtient alors en mode "balayage" et en mode "XY" les écrans suivants:



Modulation



Surmodulation