

**BUT**

- Savoir que réaliser une modulation d'amplitude c'est rendre l'amplitude du signal modulé fonction affine de la tension modulante.
- Connaître les conditions à remplir pour éviter la surmodulation.
- Savoir que la tension modulée d'un signal sinusoïdal est la somme de trois tensions sinusoïdales.
- Réaliser la modulation d'amplitude.

**INTRODUCTION**

Nous avons vu dans le TP précédent que les informations que l'on transmet par ondes hertziennes (paroles, musiques, images ...) correspondent à des signaux dont les fréquences sont de l'ordre de grandeur du kilohertz (de 20 Hz à 20 kHz pour les ondes sonores). Ces signaux **basse fréquence (BF)** ne peuvent pas être émis directement car des problèmes se posent :

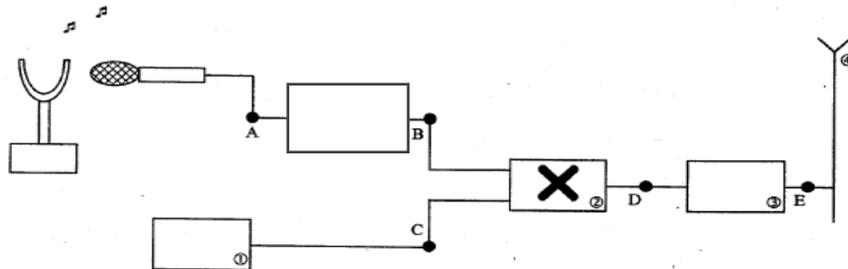
- ☞ la propagation des ondes BF se fait sur de courtes distances car elles sont fortement amorties ;
- ☞ le brouillage des informations à transmettre à cause de signaux parasites (signaux industriels à 50 Hz ...) ou des signaux de même fréquence émis par d'autres stations ;
- ☞ la dimension des antennes de réception de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde des signaux à transmettre (300 km !!).

Ainsi l'idée de transmettre les informations par une onde de **fréquence élevée (HF)** est naturellement apparue. Les informations à transmettre (**signal modulant**) sont alors **inscrites ou modulées** dans une onde de **haute fréquence (HF) (onde porteuse)** : on obtient ainsi un **signal modulé**.

**I. PRINCIPE DE LA MODULATION D'AMPLITUDE**

Le **signal porteur** (onde porteuse) de haute fréquence HF est modifié, on dit modulé, pour que son amplitude varie à l'image du **signal modulant** (informations à transmettre) basse fréquence BF.

Nous allons modéliser un émetteur radio en modulation d'amplitude. En voici le principe :

**a. SIGNAL MODULANT (INFORMATION À TRANSMETTRE)**

À la place du diapason et du micro, nous allons utiliser un GBF, qui délivrera une tension sinusoïdale, image du son à transmettre.

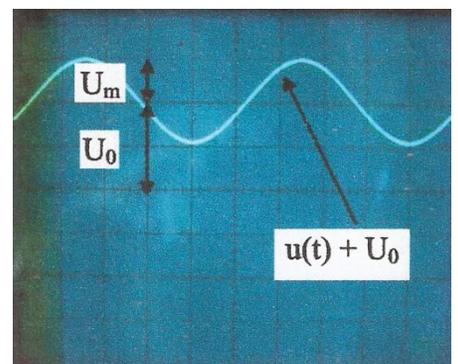
Cette tension est le signal modulant (il n'est pas forcément sinusoïdal, mais peut toujours être décomposé en une somme de sinusoïdes (transformée de Fourier)).

Cette tension alternative sinusoïdale, de fréquence  $f$ , est modélisable par une fonction.

1. Donner la forme de cette fonction.

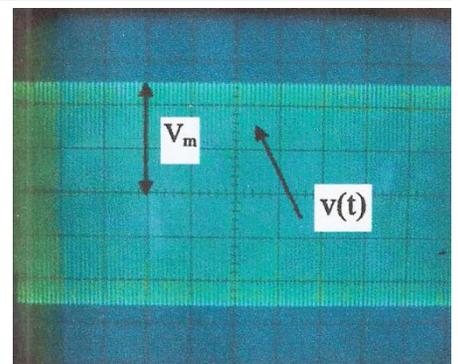
$U_0$  : **Tension de décalage ou d'offset** : il s'agit d'une tension continue, notée  $U_0$ , que l'on ajoute à la tension modulante.

Dans notre expérience, on pourra ajouter cette tension continue à la tension modulante à l'aide de la fonction "décalage" du GBF.

**b. LE SIGNAL PORTEUR**

Il s'agit d'une tension sinusoïdale de fréquence très élevée  $F$ , qu'on modélisera par une fonction.

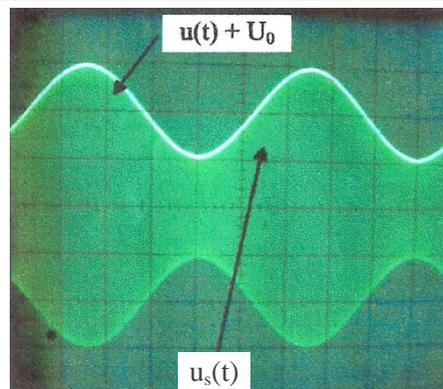
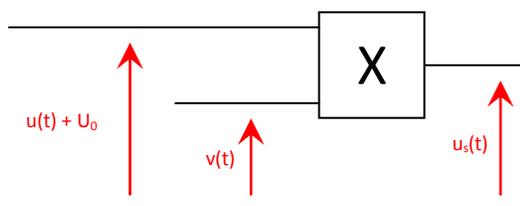
2. Donner la forme de cette fonction.



Pour notre expérience, cette tension sera délivrée par un GBF.

### c. LE SIGNAL DE SORTIE $u_s(t)$ : SIGNAL MODULÉ EN AMPLITUDE

Un circuit électronique, appelé **multiplieur** et faisant intervenir l'amplificateur opérationnel, permet d'obtenir, à partir des signaux précédents une tension notée  $u_s(t)$ , proportionnelle au produit des deux tensions qu'on lui applique :



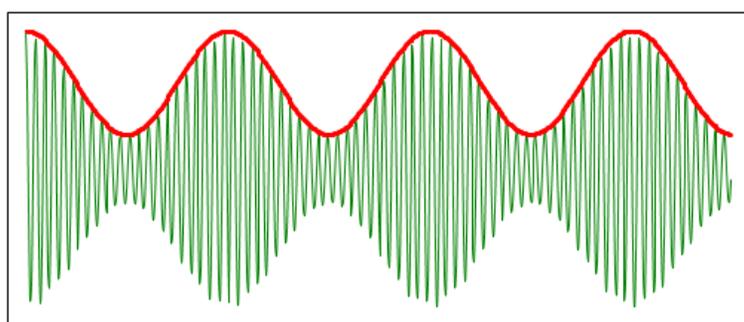
3. Écrire la tension  $u_s(t)$  sous la forme  $u_s(t) = A \times (m \cos \omega t + 1) \times \cos \Omega t$  en déterminant les expressions de  $A$  et  $m$ .

La partie  $(\cos \Omega t)$  traduit l'oscillation à haute fréquence du signal porteur.

La partie  $U_s = A \times (m \cos \omega t + 1)$  est l'amplitude du signal modulé. Elle traduit les variations de l'enveloppe du signal et donc l'information portée.

On appellera  $m = \frac{U_m}{U_0}$  le **taux de modulation du signal**.

Allure du signal modulé en amplitude et du signal modulant qui crée l'enveloppe du signal modulé et porte l'information :



### d. SPECTRE EN FRÉQUENCE DE LA TENSION MODULÉE

4. À l'aide de la relation trigonométrique  $\cos a \times \cos b = \frac{1}{2} [\cos(a + b) + \cos(a - b)]$ , montrer que le signal  $u_s(t)$  peut être exprimé sous la forme d'une somme de trois fonctions sinusoïdales de pulsations respectives  $\Omega$ ,  $\Omega + \omega$  et  $\Omega - \omega$ .

**Aide :** commencer par développer l'expression :  $u_s = A \times (m \cos \omega t + 1) \times \cos \Omega t$ .

On arrive ainsi à l'expression : 
$$u_s(t) = [A \cdot \cos 2\pi Ft] + \frac{1}{2} [A \cdot m \cdot \cos 2\pi(F+f)t] + \frac{1}{2} [A \cdot m \cdot \cos 2\pi(F-f)t]$$

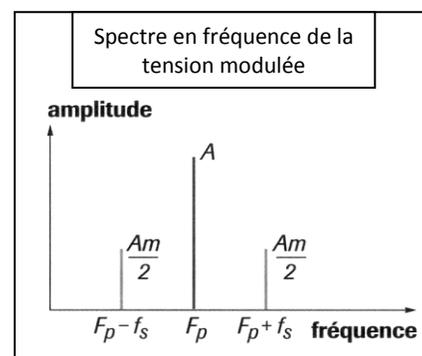
Donc, une tension sinusoïdale, de **fréquence F**, modulée en amplitude par une tension sinusoïdale de **fréquence f < F**, est la **somme de 3 tensions sinusoïdales, de fréquence F-f, F, et F+f**.

On peut établir le spectre en fréquence de la tension modulée en amplitude par une tension sinusoïdale :

- les fréquences sont portées en abscisses, et les amplitudes des signaux correspondant en ordonnées.
- La raie centrale correspond à la fréquence de la porteuse F, c'est la raie de plus grande amplitude.
- Les raies latérales correspondent aux fréquences F-f et F+f.

Pour transmettre un signal BF de fréquence f sur une onde porteuse de fréquence F, il faut disposer d'une bande de fréquences [(F-f), (F+f)].

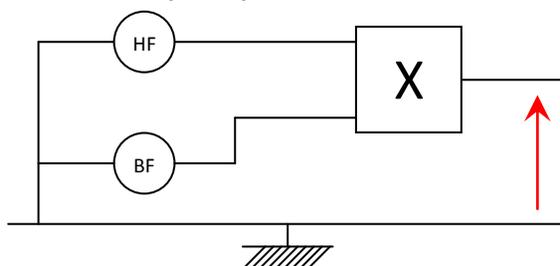
La transmission d'un signal modulé en amplitude occupera donc une bande de fréquence de largeur 2f : **c'est la largeur de bande ou bande passante**.



## II. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Notre montage expérimental sera constitué de trois parties distinctes : un générateur HF fournissant un signal sinusoïdal de haute fréquence (la porteuse), un générateur BF fournissant un signal sinusoïdal décalé de basse fréquence (le signal modulant) et un multiplieur réalisant la modulation. Le signal modulé,  $u_m(t)$  sera observé sur l'écran d'un oscilloscope.

**Attention, pour toutes les manipulations, oscilloscope en position DC.**



→ **Réglage du signal porteur :**

- Connecter une voie d'oscilloscope à la sortie du générateur et sélectionner avec précision un signal sinusoïdal de fréquence  $F = 200 \text{ kHz}$  et d'amplitude  $V_m = 5V$  : ce signal sera la porteuse.
- Une fois ces réglages faits, on éteint le générateur et on débranche l'oscilloscope.
- On relie la sortie du générateur éteint au module multiplieur entre les voies **X** et la masse (**v1**).

Le signal modulant sera délivré par un générateur BF.

→ **Réglage du signal modulant :**

- On branche une voie de l'oscilloscope à la sortie du générateur BF (sortie  $50 \Omega$ ).
- On sélectionne avec précision un signal sinusoïdal de fréquence  $f = 1 \text{ kHz}$  et d'amplitude  $U_m = 2V$ .
- On ajoute à ce signal, grâce à la fonction décalage enclenchée, une tension continue positive de valeur  $U_0 = 3V$  : ce signal sera la tension modulante décalée.
- Une fois ces réglages faits, on éteint le générateur et on débranche l'oscilloscope.
- On relie la sortie ( $50 \Omega$ ) du générateur éteint au module multiplieur entre les voies **Y** et la masse (**v2**).

→ **Alimentation du multiplieur :**

- L'alimentation du multiplieur n'est en général pas représentée sur les schémas mais ne doit pas être oubliée. Il sera alimenté par un générateur continu symétrique **+15V/-15V** dont la masse devra être connectée à la masse du circuit. Le fonctionnement interne du multiplieur et son schéma électrique détaillé ne sont pas à connaître.
- On connecte les bornes de l'alimentation avec celles du multiplieur (+15V avec +15V, -15V avec -15 V et la borne 0 du générateur avec la borne 0V du multiplieur).
- **L'alimentation du multiplieur devra être mise sous tension AVANT les autres générateurs.**

→ **Réglages de l'oscilloscope :**

- On relie la sortie  $50 \Omega$  du générateur modulant à la voie 1 de l'oscilloscope et la sortie vs du multiplieur à la voie 2 sans oublier de connecter la masse de l'oscilloscope à celle du circuit.
- On vérifie que toutes les masses du circuit soient bien connectées entre elles : les deux générateurs, l'oscilloscope, l'alimentation du multiplieur, les bornes de v1 et v2.
- On règle le balayage sur **0,5 ms/div**.
- On règle les sensibilités verticales des voies 1 et 2 respectivement sur **2V/div** et **1V/div**.

→ **Observation des signaux :**

- On met sous tension le générateur d'alimentation du multiplieur +15V/-15V.
- On met sous tension les deux générateurs HF et BF.
- On enclenche le bouton DUAL de l'oscilloscope de manière à voir les deux signaux.
- On enclenche sur chaque voie les boutons AC/DC sur la position DC afin de ne pas supprimer la composante continue  $U_0$  rajoutée par le générateur modulant (la fonction AC de l'oscilloscope supprime les composantes continues d'une tension).
- On effectue les réglages nécessaires afin d'observer la tension modulée.

5. Calculer les fréquences exactes des tensions « porteuse  $F$  » et « modulante  $f$  ».

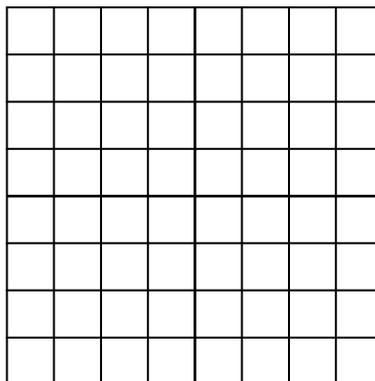
→ **Taux de modulation  $m$  :**

- En jouant sur les boutons « amplitude » et « tension de décalage  $U_0$  » du générateur modulant (BF), observer les trois cas suivants et représenter les oscillogrammes obtenus :

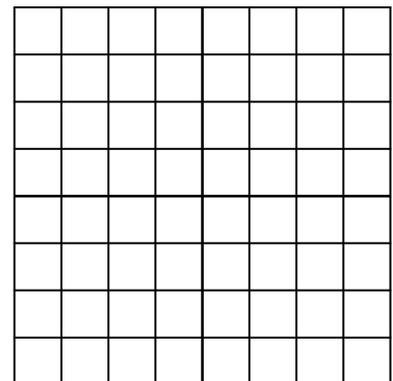
**1<sup>er</sup> cas**

**$U_0 > U_m \Leftrightarrow m < 1$  : on parle de modulation normale**

En mode balayage



En mode XY



Balayage :

Sensibilité :

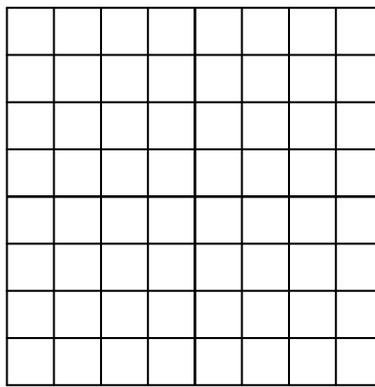
L'amplitude du signal modulé ne change pas de signe au cours du temps : l'enveloppe du signal modulé ne coupe jamais le signal et **correspond au signal modulant**. La modulation est bonne et l'information pourra être démodulée facilement.

En mode XY, on observe .....

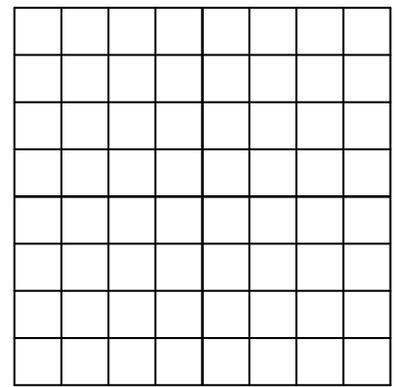
2<sup>ème</sup> cas

$U_0 = U_m \Leftrightarrow m = 1$  : on parle de modulation critique (maximale)

En mode balayage



En mode XY



Balayage :

Sensibilité :

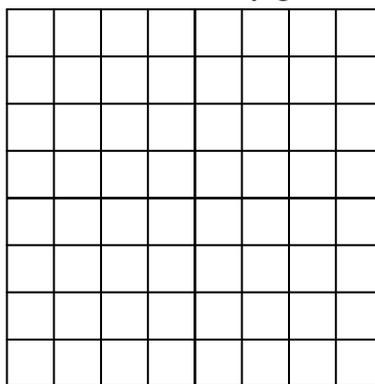
L'amplitude du signal modulé ne change pas de signe au cours du temps : l'enveloppe du signal modulé ne coupe jamais le signal mais **s'annule**. C'est la **limite critique** (maximale) permise pour la modulation.

En mode XY, on observe un .....

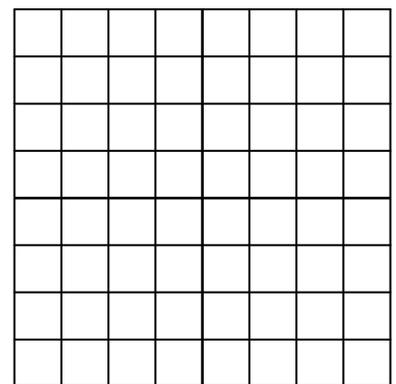
3<sup>ème</sup> cas

$U_0 < U_m \Leftrightarrow m > 1$  : on parle de surmodulation

En mode balayage



En mode XY



Balayage :

Sensibilité :

L'amplitude du signal modulé change de signe au cours du temps : l'enveloppe du signal modulé coupe le signal et **ne correspond plus au signal modulant**. L'information ne pourra pas être démodulée. C'est le **phénomène de surmodulation**.

En mode XY, on observe .....

6. Dans le cas d'une **modulation normale** ( $m < 1$ ), démontrer que :  $m = \frac{U_{Smax} - U_{Smin}}{U_{Smax} + U_{Smin}}$

**Rappel :**

on sait que le signal modulé a pour fonction :  $u_s(t) = U_s \times \cos \Omega t$  avec  $U_s = A \times (m \cos \omega t + 1)$  qui est son amplitude.

