MODULATION D'AMPLITUDE

Objectifs: expliquer le principe de la modulation d'amplitude et illustrer cette modulation par des expériences.

I. LA MODULATION D'AMPLITUDE

1) 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:

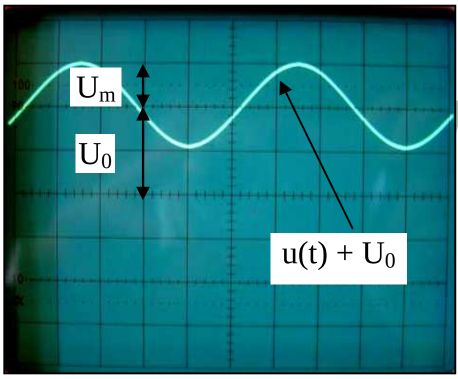
- la propagation des ondes BF se fait sur de faibles distances car ils sont fortement amortis.
- le brouillage des informations à transmettre à cause de signaux parasites (signaux industriels à 50 Hz …..) ou des signaux de même fréquence émis par des stations différentes
- dimensions des antennes de réception de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ des signaux à transmettre: ($\lambda = c/f = 3.10^8 / 10^3 = 3.10^5$ m = 300 km !!!).

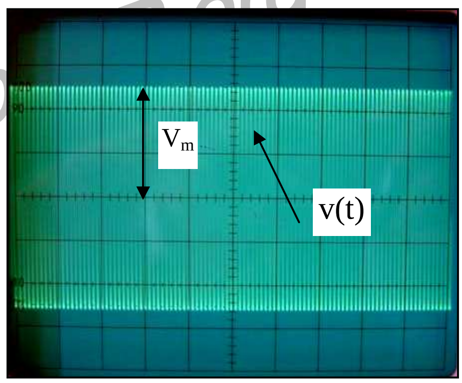
• Ainsi, l'idée de transmettre des informations par une **onde de fréquence élevée** est naturellement apparue. Les informations sont alors **inscrites ou modulées** dans une onde de **haute fréquence (HF)**.

2) Principe de la modulation d'amplitude

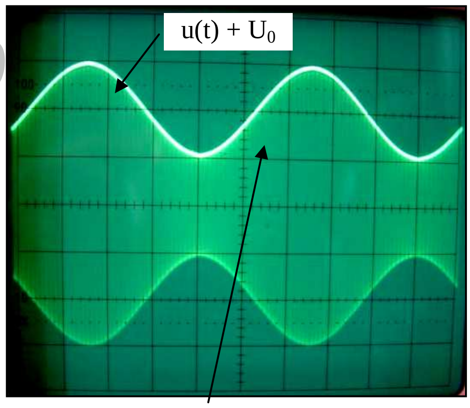
• Le **signal porteur** entre les antennes d'émission et de réception est un **signal haute fréquence (HF)**.
• Le signal porteur est modifiée, on dit **modulé**, afin que son **amplitude varie à l'image du signal BF**.

Signal sinusoïdal porteur haute fréquence:	$\mathbf{v(t) = V_m.cos(2\pi.F.t)}$	
Signal sinusoïdal contenant l'information:	$\mathbf{u(t) = U_m.cos(2\pi.f.t)}$	avec **F >> f**
Tension continue de décalage ajoutée à u(t):	$\mathbf{U_o}$	



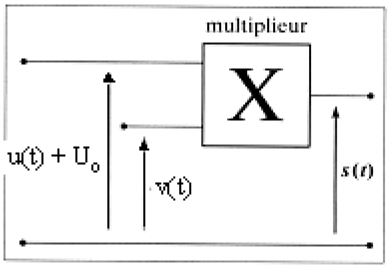


• La modulation d'amplitude consiste à **modifier l'amplitude de l'onde porteuse haute fréquence** par **le signal contenant l'information**.



Signal s(t) modulé en amplitude

3) Réalisation pratique: utilisation d'un montage multiplieur de tension



• Pour moduler l'amplitude de l'onde porteuse on utilise **un multiplieur** qui réalise le produit du signal informatif décalé **u(t) + U_0** par le signal porteur haute fréquence **v(t)** (voir ci-contre).
La tension de sortie **s(t)** du multiplieur, **modulée en amplitude** s'écrit alors:

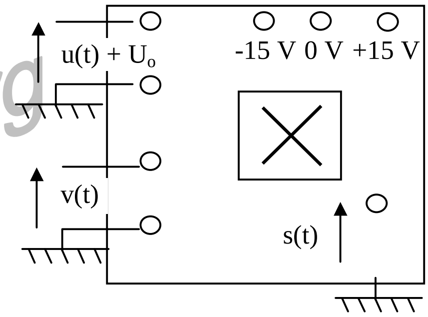
$$s(t) = k \times [\, u(t) + U_o \,] \times v(t) \qquad \text{avec } k \approx 0{,}1\ V^{-1} \text{ constante.}$$

• En posant : $A = k \times U_o \times V_m$

et $\boxed{m = \dfrac{U_m}{U_0}}$ appelé **taux de modulation**

il vient (voir cours plus loin):

$$\boxed{s(t) = \underbrace{A \times [\, 1 + m \times \cos(2\pi.f.t)\,]}_{\text{Amplitude modulée par le signal informatif décalé}} \times \underbrace{\cos(2\pi F.t)}_{\text{« cosinus » du signal v(t)}}}$$



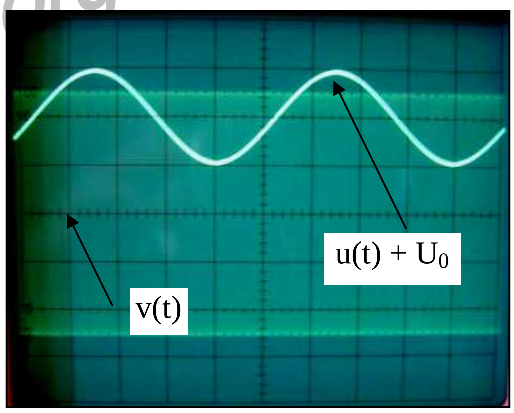
• On peut interpréter le signal **s(t)** comme étant le signal de l'onde porteuse **v(t)** dont l'amplitude **V_m** est remplacée par le terme **$A \times [1 + m.\cos(2\pi.f.t)\,]$** correspondant à une **<u>amplitude modulée par le signal informatif.</u>**

II. ETUDE EXPERIMENTALE DE LA MODULATION D'AMPLITUDE

1) Réglages des signaux

• Régler l'oscilloscope en mode DUAL, en DC sur chaque voie, et centrer les voies.

• GBF$_1$ associé au signal à transmettre décalé u(t) + U_o:
Amplitude: U_m = 1 V
Fréquence: f = 1 kHz .
tension de décalage: U_o = 2 V (bouton « offset » du GBF$_1$).



• Visualiser u(t) + U_o sur la voie 1 de l'oscilloscope avec le calibre 1 V / div et la base de temps 0,2 ms / div. Vous devez obtenir le signal ci-contre.

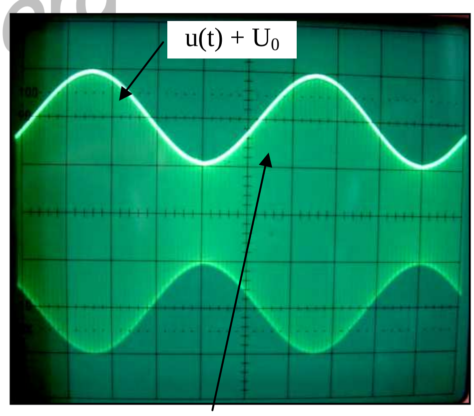
• Observer l'allure du signal u(t) + U_o lorsqu'on passe de DC en AC et inversement. Qu'observez-vous dans chaque position ? Faire un schéma pour chaque cas. Revenir en DC.

• GBF$_2$ associé au signal porteur haute fréquence v(t) :
Amplitude: V_m = 5 V
Fréquence: F = 50 kHz.

• Visualiser v(t) sur la voie 2 de l'oscilloscope avec le calibre 2 V / div .
• Vous devez obtenir les deux signaux ci-contre.

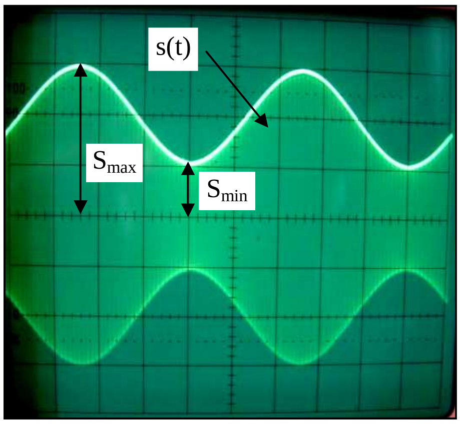
2) Obtention du signal modulé en amplitude s(t)

• Envoyer les signaux sur les 2 entrées du multiplieur. Alimenter le multiplieur.
• Faire les branchements nécessaires pour visualiser simultanément :
  - le signal u(t) + U_o sur la voie 1
  - le signal modulé s(t) sur la voie 2
• Synchroniser l'oscilloscope sur la voie 1 (CH I/II en position sortie).
• Régler les sensibilités verticales des deux voies (à noter) et l'amplitude V_m pour que l'amplitude de s(t) "épouse" celle de u(t) + U_o . Voir ci-contre.



Signal s(t) modulé en amplitude

3) Étude du signal modulé s(t)



• L'amplitude du signal modulé s(t) oscille entre deux valeur extrêmes: S_{max} et S_{min} (voir schéma ci-contre). 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: $\boxed{m = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}}}$. (voir cours plus loin)

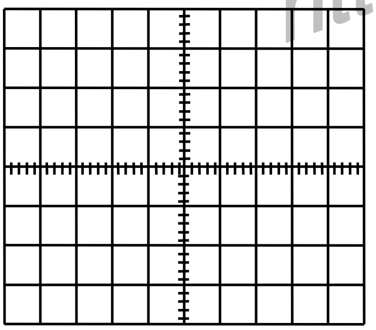
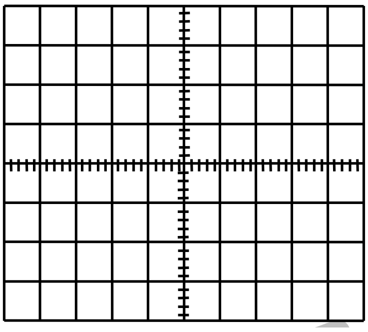
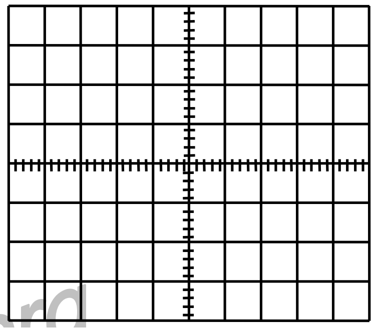
a) Déterminer les valeur de S_{max} et S_{min} et calculer m pour le signal s(t). Comparer avec $m = \frac{U_m}{U_o}$.

b) Faire varier la forme du signal informatif u(t): qu'observez-vous ?

4) Influence du taux de modulation m

• Revenir aux réglages tension sinusoïdale avec f = 1 kHz, F = 50 kHz .
• On considère les 3 cas suivants:
- $U_o > U_m$ avec $U_o = 2$ V $U_m = 0,5$ V (sous-modulation, bonne modulation)
- $U_o = U_m$ avec $U_o = 2$ V $U_m = 2$ V (modulation critique)
- $U_o < U_m$ avec $U_o = 1$ V $U_m = 2$ V (sur-modulation)

a) Calculer m dans chacun des cas.
b) Faire les réglages demandés puis dessiner l'allure de s(t) pour les 3 cas sur les écrans ci-dessous:

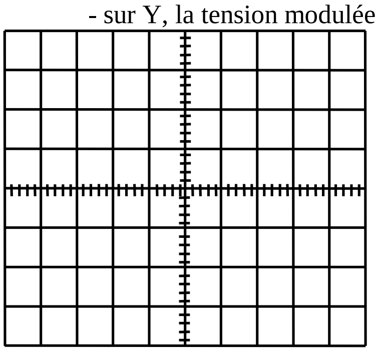
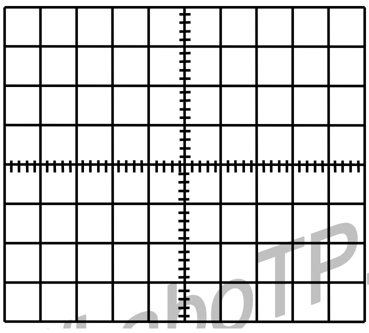
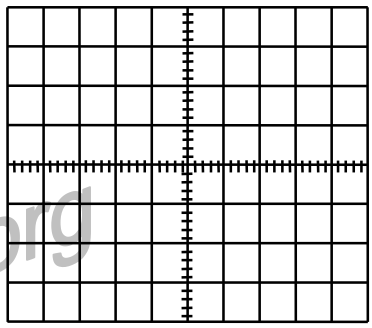




BONNE-MODULATION **MODULATION CRITIQUE** **SURMODULATION**

c) Quelle inégalité sur le taux de modulation m correspond à une bonne modulation ?
d) Quelle inégalité forte sur les fréquences correspond à une bonne modulation ?

5) Méthode du trapèze

• Utiliser l'oscilloscope en **mode XY.** Dans ce mode on n'a plus X(t) et Y(t) mais Y en fonction de X.
• Ici on a: - sur X, la tension modulante décalée $u(t) + U_0$
- sur Y, la tension modulée s(t).

BONNE-MODULATION **MODULATION CRITIQUE** **SURMODULATION**

a) Représenter les signaux observés en XY dans les trois cas ci-dessus.
b) Quelle doit-être l'allure du signal observé pour avoir une bonne modulation ?

6) Analyse spectrale du signal modulé s(t)

• Le signal modulé en amplitude $s(t) = A.[1 + m.\cos(2\pi f.t)].\cos(2\pi F.t)$ peut s'écrire comme la somme de trois fonctions cosinus en utilisant la relation: $\cos(a).\cos(b) = ½.[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$.
a) Exprimer s(t) sous la forme d'une somme de trois cosinus dont on donnera les fréquences et les amplitudes.
• On réalise un signal modulé en amplitude avec F = 50 kHz et f = 1,0 kHz.
b) Dessiner l'allure du spectre associé à s(t).

PARTIE COURS :

1) On a : $\mathbf{s(t) = k \times [\, u(t) + U_o\,] \times v(t)}$ avec $k \approx 0{,}1\ V^{-1}$ constante.

Avec : $\mathbf{v(t) = V_m.\cos(2\pi.F.t)}$
$\mathbf{u(t) = U_m.\cos(2\pi.f.t)}$

donc: $s(t) = k \times [\, u(t) + U_o\,] \times v(t) = k \times [\ U_m.\cos(2\pi.f.t) + U_0] \times\ V_m.\cos(2\pi.F.t)$

$$s(t) = k \times U_o \times V_m \times [\ \frac{U_m}{U_0}\ \cos(2\pi.f.t) + 1\ ] \times \cos(2\pi.F.t)$$

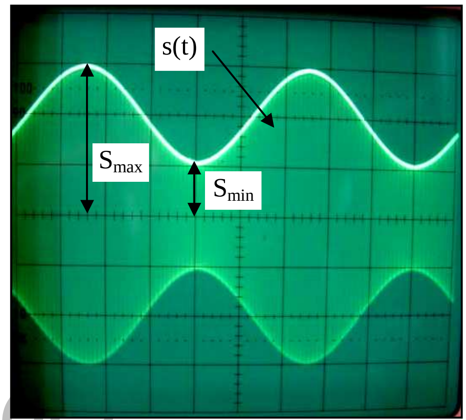
En posant : $A = k \times U_o \times V_m$

et $m = \dfrac{U_m}{U_0}$ appelé **taux de modulation**

il vient :

$$\mathbf{s(t) = A \times \underbrace{[\ 1 + m \times \cos(2\pi.f.t)\ ]}_{\text{Amplitude modulée par le signal informatif décalé}} \times \underbrace{\cos(2\pi.F.t)}_{\text{« cosinus » du signal v(t)}}}$$

2) On peut écrire s(t) sous la forme:
$\mathbf{s(t) = S_m \times \cos(2\pi.F.t)}$



où S_m est l'amplitude du signal modulé : $\mathbf{S_m = A \times [\ 1 + m \times \cos(2\pi.f.t)\ ]}$

Et : $\mathbf{S_{max} = A \times [\ 1 + m\ ]}$ ($\cos(2\pi.f.t) = 1$)
$\mathbf{S_{min} = A \times [\ 1 - m\ ]}$ ($\cos(2\pi.f.t) = -1$)

D'où:

$S_{max} - S_{min} = 2 \times A \times m$ (1)
$S_{max} + S_{min} = 2 \times A$ (2)

En faisant le rapport (1) / (2) on obtient finalement: $\boxed{m = \dfrac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}}}$.