

Niveaux: SM PC SVT	Matière: Physique
PROF: Zakaryae Chriki	Résumé N:9
Modulation d'amplitude	



## I. Ondes électromagnétiques- Transmission d'information

### 1. Les caractéristiques des ondes électromagnétiques

Comme les ondes mécaniques progressives sinusoïdales, les ondes électromagnétiques sont caractérisées par :

- \* une fréquence  $f$  (en Hz) et une période  $T$  (en s) liées entre elles par la relation suivante :  $f = \frac{1}{T}$
- \* Une célérité (vitesse de propagation en  $m/s$ ) : dans le vide et dans l'air elle est égale à la célérité de la lumière soit  $c = 3.10^8 m/s$
- \* La célérité des ondes électromagnétiques dans les milieux transparents (comme les fibres optiques) est également importante (de l'ordre de  $10^8 m/s$ )
- \* Une longueur d'onde dans le vide  $\lambda$  (en m) qui correspond à la distance parcourue par l'onde se déplaçant à la célérité  $c$  durant une période temporelle  $T$ . On a aussi la relation suivante :  $\lambda = c.T = \frac{c}{f}$

### 2. La nécessité de la modulation

On veut transporter un signal (musique, son, image, etc...). Ces signaux ont une basse fréquence de l'ordre de  $1kHz$ , en fait ces signaux ne peuvent pas être transmis directement pour plusieurs raisons :

- \* Les ondes de basses fréquences sont fortement amorties ;
- \* Les dimensions de l'antenne réceptrice pour une onde donnée doivent être de l'ordre de  $\frac{\lambda}{2}$  et  $\frac{\lambda}{4}$

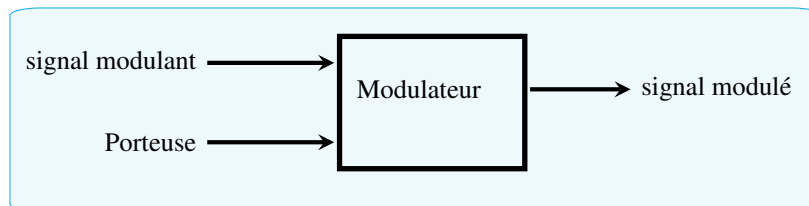
Cela conduirait à des antennes irréalisables du fait de leurs dimensions : pour une onde de fréquence  $1kHz$  il faudrait une

$$\text{antenne de dimension } L = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2 \cdot 10^3} = 150km$$

- \* L'intervalle des basses fréquences est très étroites qui a pour effet de rendre l'antenne incapable de sélectionner le signal transmis parmi d'autres. Il y aurait brouillage de l'information.

#### La solution :

C'est de transporter le signal dans une plage des hautes fréquences, ce qui nécessite l'utilisation d'une onde porteuse de haute fréquence qui porte le signal de BF sous forme d'une onde modulante.

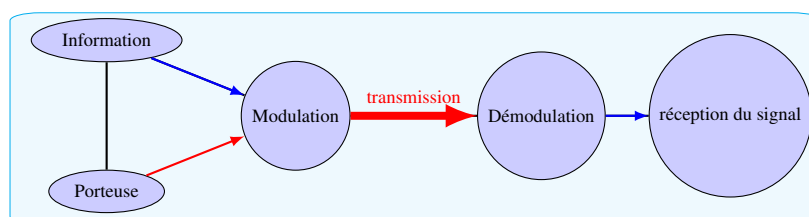


### 3. Le principe de transmission d'une information par une onde électromagnétique

L'information à transmettre est contenue dans un signal électrique de basse fréquence.

Pour le transporter, on utilise une "onde porteuse" de haute fréquence.

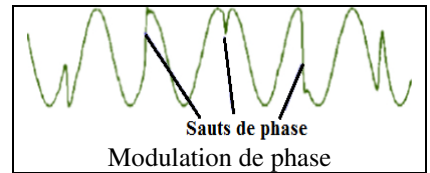
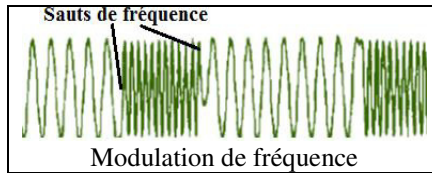
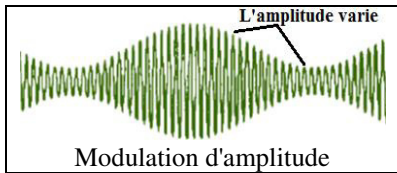
L'amplitude de l'onde porteuse est modulée par le signal électrique de basse fréquence. Ceci est effectué par un modulateur.



### 4. les types de modulations

Dans la porteuse  $p(t) = P_m \cdot \cos(2\pi \cdot N \cdot t + \varphi)$ , trois paramètres peuvent être modifiés :

- L'amplitude  $U_m$  : modulation d'amplitude
- La fréquence  $N$  : modulation de fréquence
- La phase  $\varphi$  : modulation de phase



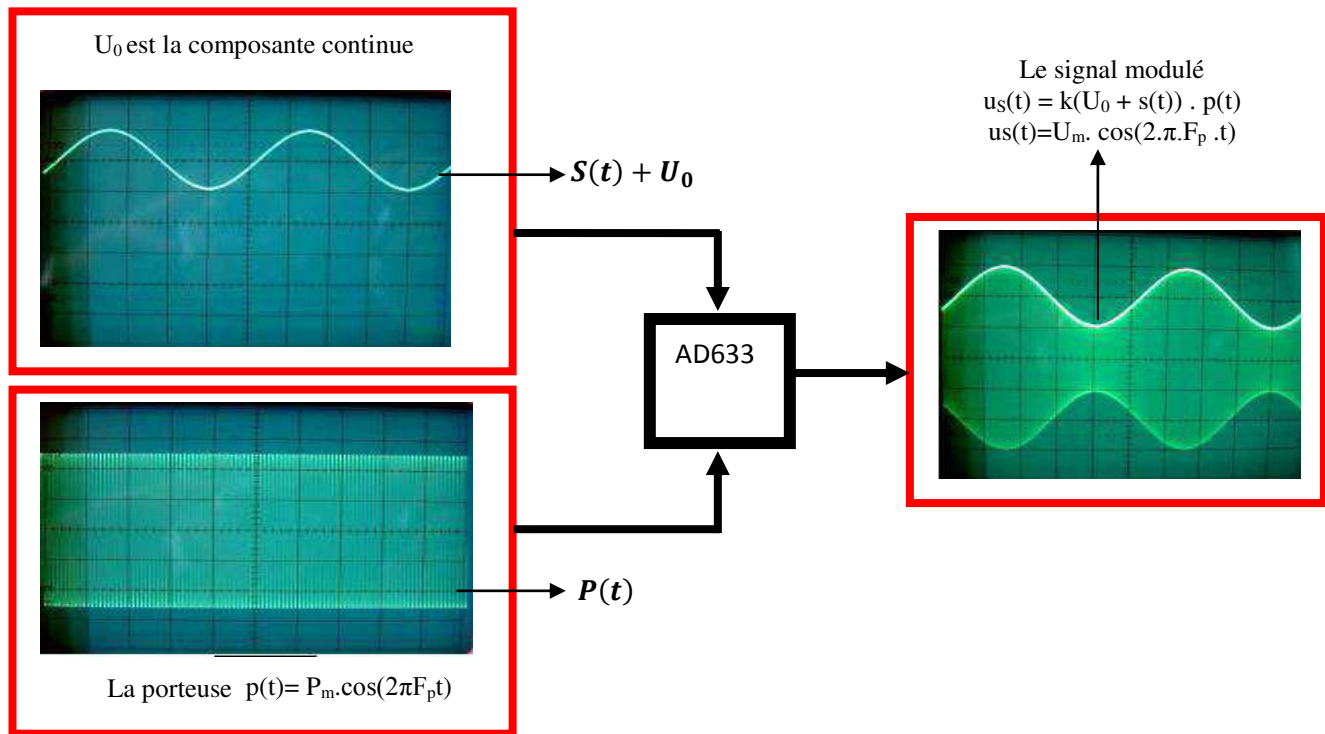
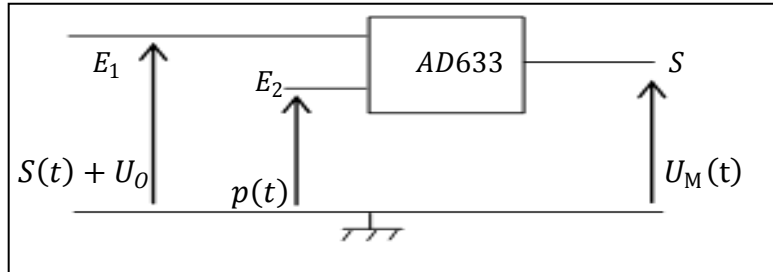
## II. Modulation d'amplitude

### 1. Principe :

La modulation d'amplitude d'une tension porteuse  $p(t)$  de haute fréquence  $F_p$  permet la transmission de signaux de faibles fréquences ( une tension  $s(t)$  de basse fréquence  $f_s$ ) avec :

$s(t) = S_m \cos(2\pi f_s t)$  : signal de faible fréquence: Le signal modulant contenant l'information à diffuser (à envoyer)

$p(t) = P_m \cos(2\pi F_p t)$  : porteuse



### 2. Expression de la tension modulée en amplitude

À l'entrée  $E_1$  du multiplieur , on a  $s(t) + U_0 = S_m \cos(2\pi f_s t) + U_0$  avec  $U_0$  une tension continue .

À l'entrée  $E_2$ , on applique la tension porteuse :  $p(t) = P_m \cos(2\pi F_p t)$  .

À la sortie on obtient la tension  $u_s(t) = k P_m (S_m \cos(2\pi f_s t) + U_0) \cos(2\pi F_p t)$

On sait que l'expression générale de la tension modulée en amplitude est :  $u_s(t) = U_m(t) \cos(2\pi F_p t)$

$U_m(t)$  est l'amplitude de la tension modulée est une fonction affine de la tension modulante  $s(t)$

Elle en reproduit les variations au cours du temps .

L'amplitude de la tension modulée s'écrit :  $U_m(t) = k P_m (S_m \cos(2\pi f_s t) + U_0)$   $U_m(t) = k P_m U_0 (\frac{S_m}{U_0} \cos(2\pi f_s t) + 1)$

On pose :  $A = k P_m U_0$  et  $m = \frac{S_m}{U_0}$  et la relation prend la forme suivante :  $U_m(t) = A(m \cos(2\pi f_s t) + 1)$

On appelle  $m$  le **taux de modulation**

De la relation ci-dessous , montre que l'amplitude modulée  $U_m(t)$  varie entre deux valeurs extrêmes :  $U_{mmax}$  et  $U_{mmin}$  tel que :

$$U_{mmax} = A(m + 1) \quad U_{mmin} = A(-m + 1) \quad \text{c'est à dire que : } U_{mmax} + U_{mmin} = 2A \quad U_{mmax} - U_{mmin} = 2A$$

d'où le taux de modulation est :

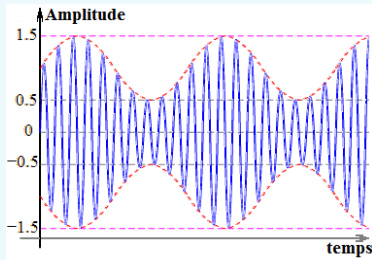
$$m = \frac{U_{mmax} - U_{mmin}}{U_{mmax} + U_{mmin}}$$

### 3. La qualité d'une modulation d'amplitude

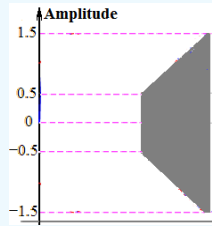
Pour une modulation parfaite il faut que :

- La fréquence  $F_p$  de la porteuse soit nettement supérieure à la fréquence de la modulante  $f_s$  :  $F_p \gg f_s$  (Généralement  $F_p \gg 10.f_s$ )
- Le taux de modulation  $m$  soit inférieur à 1 :  $m < 1$

#### Modulation parfaite (Bonne)

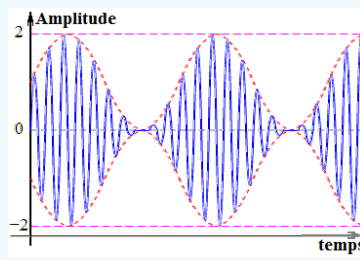


En mode XY on obtient :

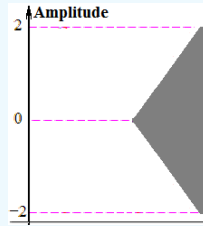


$$m = \frac{1.5 - 0.5}{1.5 + 0.5} = 0.5 < 1$$

#### Mauvaise modulation (Critique)

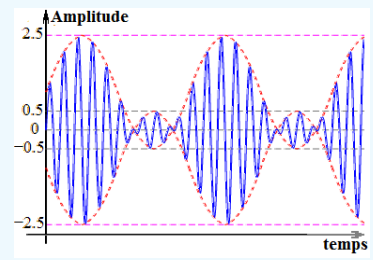


En mode XY on obtient :

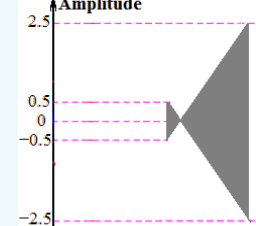


$$m = \frac{2 - 0}{2 + 0} = 1$$

#### Surmodulation



En mode XY on obtient :



$$m = \frac{2.5 - (-0.5)}{2.5 + (-0.5)} = 1.5 > 1$$

### 4. Spectre des fréquences :

Le spectre de fréquences du signal modulé est un graphe présentant l'amplitude de chaque composante sinusoïdale du signal.

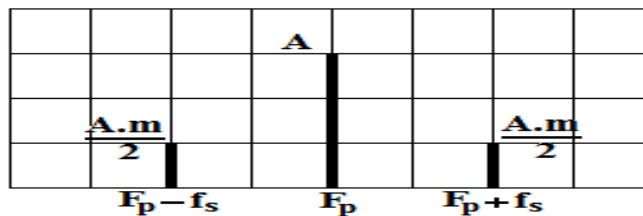
$$\text{On a } u_s(t) = A \cdot (1 + A \cdot m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F_p \cdot t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F_p \cdot t) + A \cdot m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F_p \cdot t)$$

$$\text{On sait que } 2 \cdot \cos(a) \cdot \cos(b) = \cos(a+b) + \cos(a-b)$$

$$u_s(t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F_p \cdot t) + \frac{A \cdot m}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (F_p - f_s) \cdot t) + \frac{A \cdot m}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (F_p + f_s) \cdot t)$$

Conclusion : la tension modulée est la somme de trois tensions sinusoïdales avec des fréquences différentes

La fonction	$A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F_p \cdot t)$	$\frac{A \cdot m}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (F_p - f_s) \cdot t)$	$\frac{A \cdot m}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (F_p + f_s) \cdot t)$
Amplitude	A	$\frac{A \cdot m}{2}$	$\frac{A \cdot m}{2}$
Fréquence	$F_p$	$F_p - f_s$	$F_p + f_s$



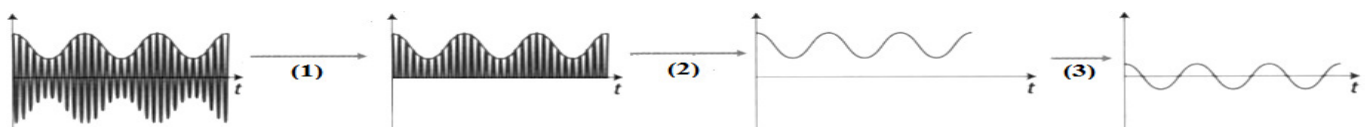
### II. Démodulation d'amplitude

Une antenne réceptrice capte l'onde électromagnétique et restitue le signal électrique modulé. La **démodulation** permet alors d'**extraire le signal modulant**  $s(t)$  d'origine du signal modulé.

Pour restituer l'information de la tension modulante, il suffit ensuite de **démoduler** le signal reçu

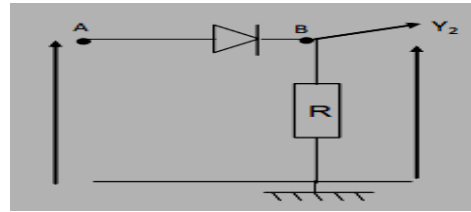
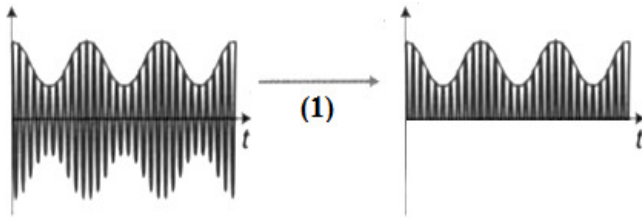
Elle s'opère comme suit :

- La réception par une antenne réceptrice
- La suppression des alternances négatives (1)
- La détection d'enveloppe (2)
- L'élimination de la composante continue (3)



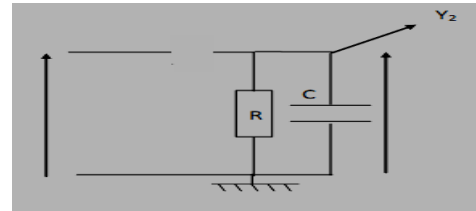
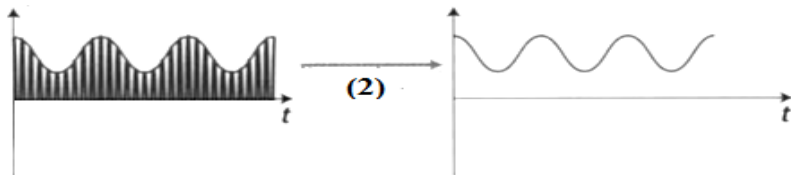
**a) Première opération :** la suppression des alternances négatives (1)

La diode bloque les alternances négatives. La tension recueillie aux bornes du conducteur ohmique est une **tension modulée redressée**.



**b) Deuxième opération :** La détection de l'enveloppe et la suppression de la porteuse

Le montage à utiliser comporte un **filtre passe – bas** (Un condensateur en parallèle avec un conducteur ohmique ), c'est-à-dire ne laissant passer que les composantes aux fréquences basses et arrêtant celles aux fréquences élevées.



**NB :**

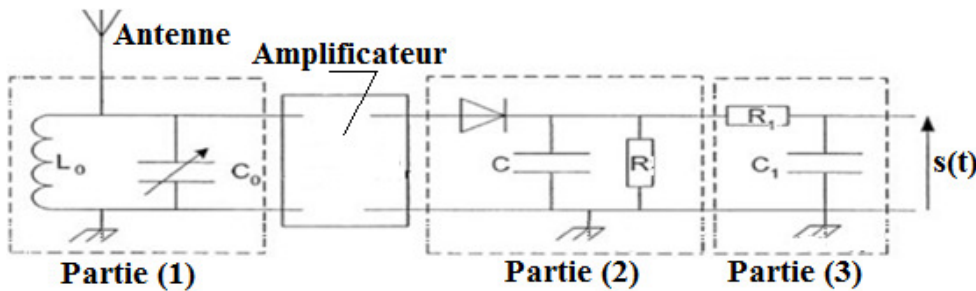
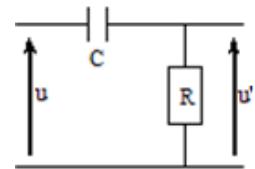
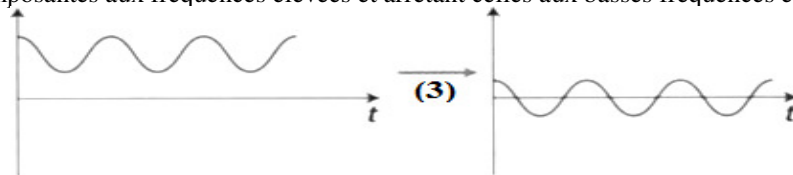
Pour retrouver une enveloppe de porteuse fidèle au signal modulant originel, il faut donc que :

$$T_p \ll RC < T_s \quad \text{avec} \quad T_s : \text{La période du signal modulant}$$

$$T_p : \text{La période du signal modulant}$$

**c) Troisième opération :** la suppression de la composante continue

Le montage à utiliser comporte un **filtre passe – haut**, c'est-à-dire ne laissant passer que les composantes aux fréquences élevées et arrêtant celles aux basses fréquences et continues.



Le rôle de chaque partie dans la démodulation :

<b>Antenne</b>	Réception des ondes électromagnétique
<b>Partie (1) : Circuit LC</b>	Sélectionner la fréquence $F_p$ ; $F_p = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$ $T_p = 2\pi\sqrt{L.C}$ : période de la porteuse
<b>Amplificateur</b>	Amplifier le signal modulé sélectionné
<b>Partie (2) : Circuit RC ou filtre passe – bas</b>	Elimine les alternances négatives et détecte l'enveloppe $T_p \ll RC < T_s$ $T_p$ : période de la porteuse $T_s$ : période de la modulante
<b>Partie (3) : Circuit RC ou filtre passe – haut</b>	Suppression de la composante continue $U_0$
<b>s(t)</b>	La tension modulante

## EXERCICE 1

La modulation d'amplitude est obtenue en utilisant un circuit intégré multiplieur .

On applique à l'entrée  $E_1$  du circuit intégré multiplieur une tension  $p(t)$  qui correspond au signal porteur, et à l'entrée  $E_2$  la tension  $s(t)+U_0$  avec  $s(t)$  la tension correspondant au signal modulant à transmettre et  $U_0$  la composante continue (figure 4).

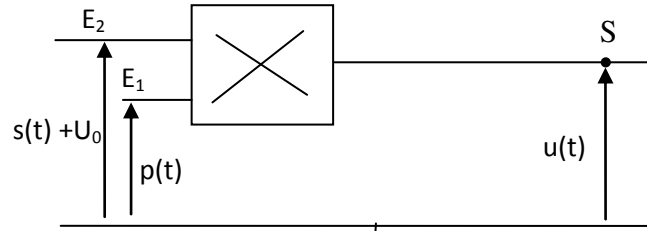


Figure 4

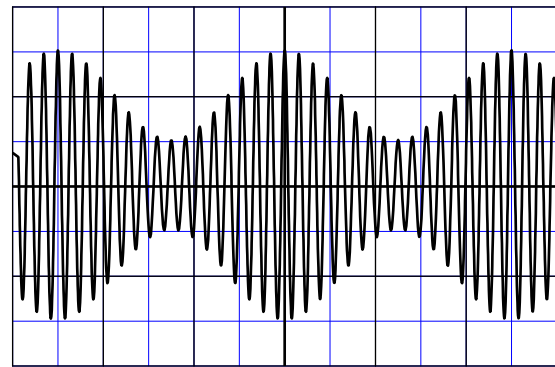
On obtient à la sortie S du circuit la tension  $u(t)$  correspondant au signal modulé en

amplitude .L'expression de cette tension est :  $u(t)=k.p(t).(s(t)+U_0)$  où  $s(t)=S_m.\cos(2\pi f_s t)$  et  $p(t)=P_m.\cos(2\pi f_p t)$  et  $k$  une constante qui caractérise le circuit intégré multiplieur .

1- La tension modulée en amplitude peut s'écrire sous la forme :  $u(t)=A \left[ \frac{m}{S_m} s(t)+1 \right] .\cos(2\pi f_p t)$  avec  $A=k.P_m.U_0$  et  $m = \frac{S_m}{U_0}$  le taux de modulation.

Trouver l'expression du taux de modulation  $m$  en fonction de  $U_{\max}$  et  $U_{\min}$  avec  $U_{\max}$  la valeur maximale de l'amplitude de  $u(t)$  et  $U_{\min}$  la valeur minimale de son amplitude.

2- Quand aucune tension n'est appliquée sur l'oscilloscope, les traces du spot sont confondues avec l'axe médian horizontal de l'écran. On visualise la tension  $u(t)$  et on obtient l'oscillogramme de la figure 5.



- Sensibilité horizontale  $20\mu s.div^{-1}$  ; -Sensibilité verticale :  $1V.div^{-1}$ .

Figure 5

Déterminer  $f_p$ ,  $f_s$  et  $m$ . Que peut-on en déduire à propos de la qualité de la modulation ?

## EXERCICE 2

Pour transmettre un signal sinusoïdal  $s(t)$  on utilise un multiplieur.

On applique à l'entrée  $E_1$  du multiplieur un signal de tension  $u(t)=s(t)+V_0$  avec  $V_0$  la tension continue de décalage , et on applique à l'entrée  $E_2$  une tension  $p(t)$  d'une onde porteuse ( figure 5).

On obtient à la sortie S du multiplieur la tension

modulée en amplitude  $u_s(t)$  telle que :  $u_s(t) = A[1+0,6\cos(10^4\pi.t)].\cos(2.10^5\pi.t)$  .

3.1- Montrer que la modulation d'amplitude obtenue est bonne .

3.2- La démodulation d'amplitude est réalisée à l'aide du montage de la figure 6.

La partie 1 du montage comprend la bobine ( $b'$ ) et un condensateur de capacité  $C_0$  réglable entre les deux valeurs  $6.10^{-12} F$  et  $12.10^{-12} F$  .

Le conducteur ohmique utilisé dans la partie 2 du montage a une résistance  $R_1=30k\Omega$  .

a- Montrer que l'utilisation de la bobine ( $b'$ ) dans le montage permet à la partie 1 du montage de sélectionner le signal  $u_s(t)$ .

b- On veut obtenir une bonne détection d'enveloppe en utilisant l'un des condensateurs de capacités :

$10 nF$  ;  $5 nF$  ;  $0,5 nF$  ;  $0,1 nF$  . Déterminer la capacité du condensateur qui convient .

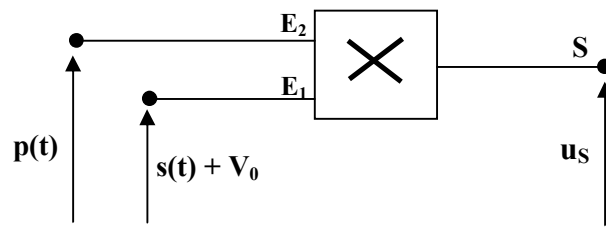


Figure 5

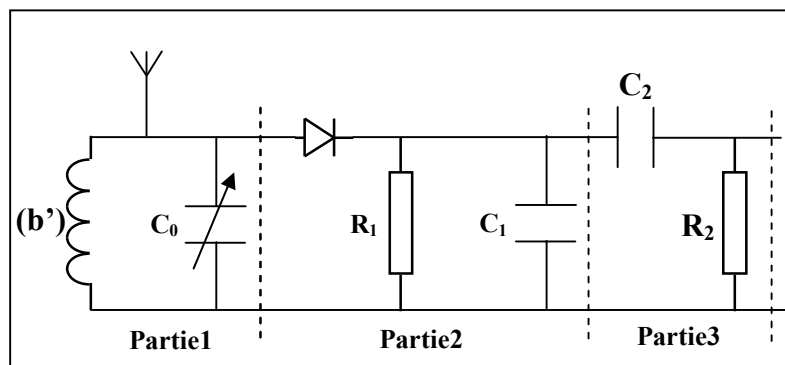


Figure 6

### EXERCICE 3

Pour recevoir une onde radio, modulée en amplitude de fréquence  $f_0 = 594 \text{ kHz}$ , on utilise le dispositif simplifié représenté par le schéma de la figure 3.

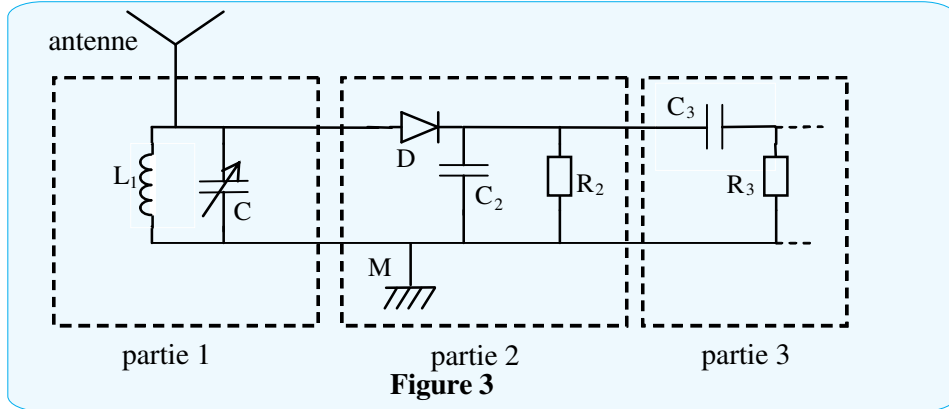


Figure 3

Parmi les réponses proposées préciser, sans aucune justification, la réponse juste :

1. La partie 1 du dispositif comporte une antenne et une bobine d'inductance  $L_1 = 1,44 \text{ mH}$  et de résistance négligeable qui est montée en parallèle avec un condensateur de capacité  $C$  variable.

1.1. La partie 1 sert à :

- recevoir et sélectionner l'onde
- éliminer la composante continue
- éliminer la porteuse
- moduler l'onde

1.2. Pour capter l'onde radio de la fréquence  $f_0$ , la capacité  $C$  doit être fixée sur la valeur :

- 499 pF
- 49,9 pF
- 4,99 pF
- 0,499 pF

2. La partie 2 joue le rôle du détecteur d'enveloppe. La capacité du condensateur utilisé dans cette partie est  $C_2 = 50 \text{ nF}$ .

2.1. La dimension du produit  $R_2.C_2$  est :

- [L]
- [T]
- [T<sup>-1</sup>]
- [I]

2.2. La moyenne des fréquences des ondes sonores est 1 kHz. La valeur de la résistance  $R_2$  qui permet d'avoir une bonne démodulation de l'onde radio étudiée est:

- 20 kΩ
- 5 kΩ
- 35 Ω
- 10 Ω

### EXERCICE 4

Les ondes sonores audibles ont une faible fréquence, leur transmission à des longues distances nécessite qu'elles soient modulées à une onde électromagnétique de haute fréquence. Cet exercice vise à étudier la modulation et la démodulation.

#### 1 - Modulation

On considère le montage représenté dans la figure 4 ;

- Le générateur (GBF)<sub>1</sub> applique à l'entrée  $E_1$  de la composante

électronique  $X$  une tension sinusoïdale  $u_1(t) = P_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{T_p}\right)$

Le générateur (GBF)<sub>2</sub> applique à l'entrée  $E_2$  de la composante

électronique  $X$  une tension sinusoïdale  $u_2(t) = U_0 + S(t)$

avec  $U_0$  la composante continue de la tension et

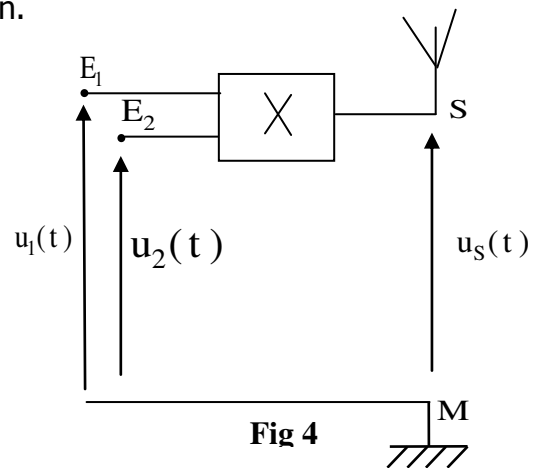
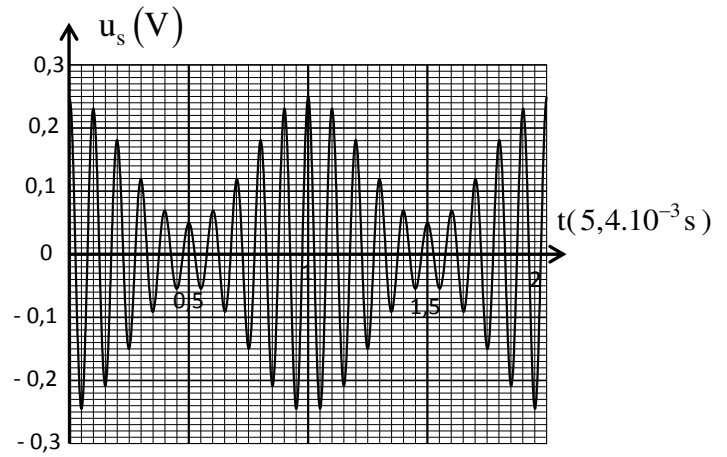


Fig 4



$$S(t) = S_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \text{ la tension correspondante}$$

à l'onde qu'on désire transmettre.  
On visualise sur l'écran d'un oscilloscope la tension de sortie  $u_s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$  avec k constante positive caractérisant la composante X, fig 5



**1.1-** Montrer que l'expression de la de la tension S s'écrit sous la forme :

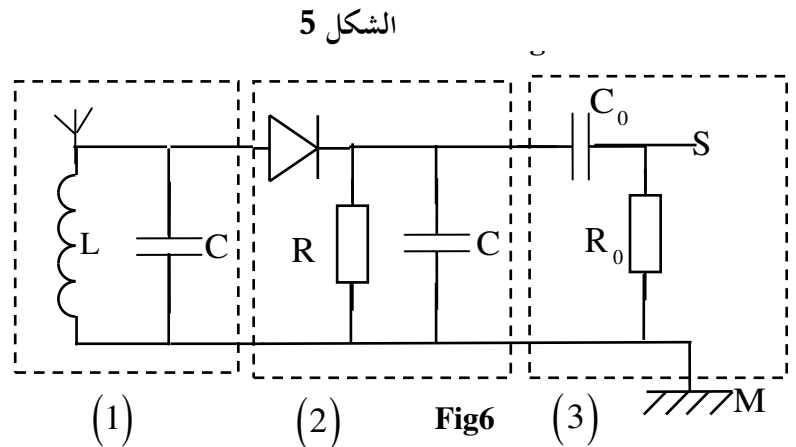
$$u_s(t) = A \left[ 1 + m \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \right] \cos\left(\frac{2\pi t}{T_p}\right)$$

et préciser l'expression de A et celle de m.

**1.2-** Calculer la valeur de m et déduire la qualité de la modulation.

## 2 - Démodulation

La figure 6 représente le montage utilisé dans un dispositif de réception constitué de



## EXERCICE 5

### 3- Modulation d'amplitude d'un signal sinusoïdal

Afin d'obtenir un signal modulé en amplitude, on utilise un circuit intégré multiplieur X (fig.6). On applique à l'entrée :

-  $E_1$  : la tension  $u_1(t) = s(t) + U_0$  avec  $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi.f_s.t)$  représentant le signal informatif et  $U_0$  une composante continue de la tension.

-  $E_2$  : une tension sinusoïdale représentant la porteuse  $u_2(t) = U_m \cdot \cos(2\pi.F_p.t)$ .

La tension de sortie  $u_s(t)$  obtenue est  $u_s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$  ; k est une constante qui dépend du circuit intégré X.

$$\text{Rappel: } \cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$$

**3.1-** Montrer que  $u_s(t)$  s'écrit sous la forme :

$$u_s(t) = \frac{A.m}{2} \cdot \cos(2\pi.f_1.t) + A \cdot \cos(2\pi.f_2.t) + \frac{A.m}{2} \cdot \cos(2\pi.f_3.t)$$

où m est le taux de modulation et A une constante.

**3.2-** La figure 7 représente le spectre de fréquences formé de trois raies de la tension modulée  $u_s(t)$ . Déterminer m et la fréquence  $f_s$ . La modulation est-elle bonne ?

**3.3-** Pour une bonne réception du signal modulée, on utilise un circuit bouchon (circuit d'accord) formé d'une bobine d'inductance  $L_0 = 60 \text{ mH}$  et de résistance négligeable et de deux condensateurs, montés en série, de capacité  $C = 10 \mu\text{F}$  et  $C_0$ . Déterminer la valeur de  $C_0$ .

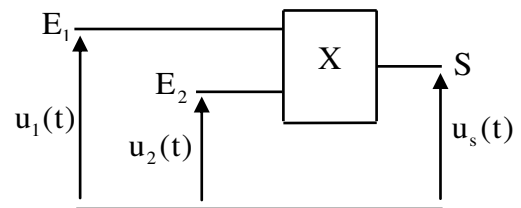


Figure 6

