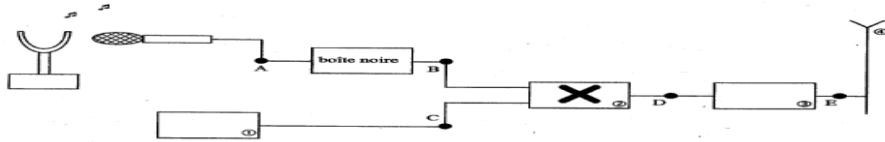


### Exercice 1 :

Les ondes électromagnétiques ne peuvent se propager dans l'air sur de grandes distances que dans un domaine de fréquences élevées. Les signaux sonores audibles de faibles fréquences sont convertis en signaux électriques de même fréquence puis associés à une onde porteuse de haute fréquence afin d'assurer une bonne transmission.

#### 1. LA CHAÎNE DE TRANSMISSION

Le schéma 1 suivant représente la chaîne simplifiée de transmission d'un son par modulation d'amplitude. Elle est constituée de plusieurs dispositifs électroniques.



1.1. Parmi les cinq propositions ci-dessous, retrouver le nom des quatre dispositifs électroniques numérotés.

Dispositifs électroniques : Antenne, amplificateur HF (Haute Fréquence), générateur HF (Haute Fréquence), multiplieur, voltmètre.

1.2. Quels sont les signaux obtenus en B, C et D parmi ceux cités ci-dessous ?

- Porteuse notée  $u_p(t) = U_{P(\max)}\cos(2\pi Ft)$
- Signal modulant BF noté  $u_s(t) + U_0$
- Signal modulé noté  $u_m(t)$

1.3. Le signal électrique recueilli en A à la sortie du microphone correspond à la tension  $u_s(t)$ . Une boîte noire est intercalée entre les points A et B. Quel est son rôle ?

1.4. Le dispositif électronique ② effectue une opération mathématique simple qui peut être :

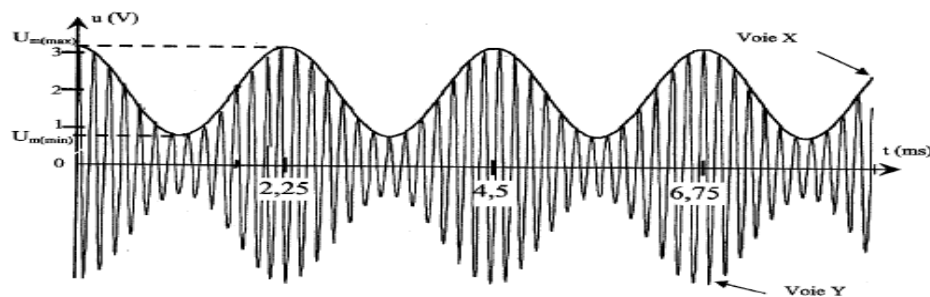
- $(u_s(t) + U_0) + u_p(t)$
- $(u_s(t) + U_0) \times u_p(t)$

Choisir la bonne réponse sachant que l'expression mathématique du signal obtenu est :

$$u_m(t) = k (U_0 + u_s(t)) U_{P(\max)} \cos(2\pi Ft)$$

#### 2. LA MODULATION D'AMPLITUDE

La voie X d'un oscilloscope bicourbe est reliée en B et la voie Y est reliée en D. L'oscillogramme obtenu est le suivant :



2.1. Estimer les valeurs des périodes  $T_s$  et  $T_p$  du signal modulant et de la porteuse.

2.2. Rappeler l'expression théorique de la fréquence  $f$  en fonction de la période  $T$  avec les unités, puis calculer les fréquences  $f$  du signal modulant et  $F$  de la porteuse.

2.3. L'amplitude de la tension du signal modulé  $u_m(t)$  varie entre deux valeurs extrêmes, notées respectivement  $U_{m(\max)}$  et  $U_{m(\min)}$ . Le taux de modulation  $m$  s'exprime par :

$$m = \frac{(U_{m(\max)} - U_{m(\min)})}{(U_{m(\max)} + U_{m(\min)})}$$

2.3.1. Calculer les valeurs des tensions maximale  $U_{m(\max)}$  et minimale  $U_{m(\min)}$  du signal modulé.

2.3.2. En déduire la valeur de  $m$ .

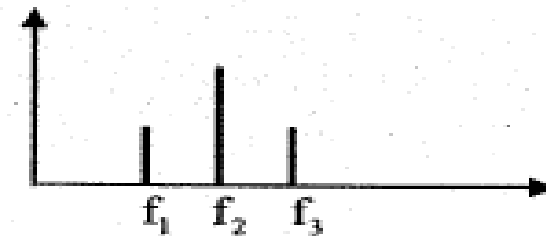
2.3.3. À quoi correspondrait un taux de modulation  $m$  supérieur à 1 ?

2.4. Le taux de modulation s'exprime aussi en fonction de la tension maximale du signal modulant  $U_{s(\max)}$  et la tension  $U_0$  selon l'expression suivante :  $m = \frac{U_{s(\max)}}{U_0}$

2.4.1. Quelle condition doit-on satisfaire pour obtenir un taux de modulation  $m < 1$  ?

2.4.2. Quelle autre condition est nécessaire pour obtenir une bonne modulation ?

2.4.3. L'analyse en fréquence du signal montre que celui-ci est composé de trois fréquences  $f_1, f_2, f_3$ . En fonction de la fréquence du signal modulant  $f$  et de la fréquence de la porteuse  $F$ , exprimer les fréquences apparaissant sur le spectre ci-dessous.



## Exercice 2 :

### 2<sup>ème</sup> partie (3,25 points) : communication par les ondes électromagnétiques

Lors d'une communication, la voix est convertie en signal électrique par un microphone, grâce à un système de conversion numérique et d'amplification. Le signal électrique est porté par une onde porteuse qui après amplification est émise vers l'antenne la plus proche. L'antenne transmet le signal à une station base qui l'envoie alors à une centrale, par ligne téléphonique conventionnelle ou par les ondes électromagnétiques. De là sont acheminées les conversations vers le téléphone du destinataire.

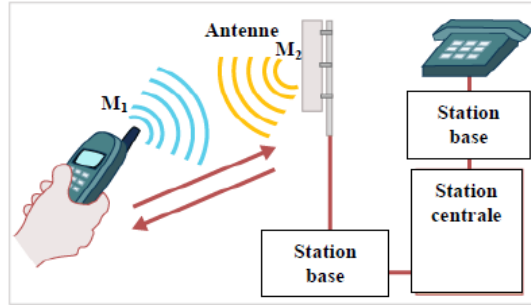


Figure 2

#### 1- émission d'une onde électromagnétique par un portable

Les ondes électromagnétiques sont utilisées par la télévision, la radio et les radars. Si bien que la gamme de fréquence restant pour les portables sont de plus en plus restreints : l'une d'entre elles s'étend de 900 à 1800 MHz.

**Données :** La célérité des ondes électromagnétiques dans le vide et dans l'air :  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ .

- 1.1- Calculer la durée que met une onde électromagnétique de fréquence  $f=900 \text{ MHz}$  pour parcourir la distance  $M_1M_2=1 \text{ km}$  séparant le téléphone et l'antenne, figure (2).
- 1.2- Que signifie l'expression « l'air est un milieu dispersif pour les ondes électromagnétiques » ?
- 1.3- On peut représenter la chaîne d'émission par le schéma de la figure (3).

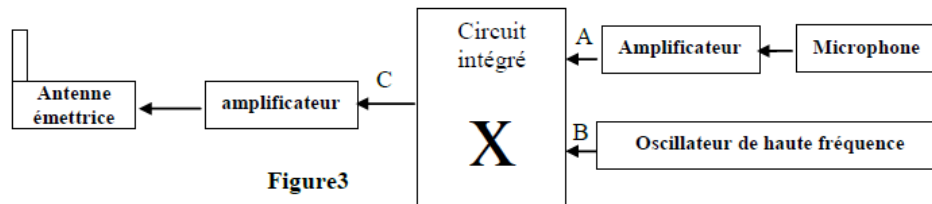


Figure 3

En quel point A ou B ou C de la figure (3) trouve-t-on :

- a- L'onde porteuse ?
- b- Le signal modulant ?

#### 2- Modulation d'amplitude

Le circuit de modulation est constitué d'un composant nommé multiplieur qui possède deux entrées  $E_1$  et  $E_2$  et une sortie  $S$ , figure (4). Pour simuler la modulation d'amplitude, on applique :

- à l'entrée  $E_1$  le signal  $u_1(t)=u(t)+U_0$  dont  $u(t)=U_m \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$  est le signal modulant et  $U_0$  tension continue de décalage.
- à l'entrée  $E_2$  le signal porteur  $u_2(t)=v(t)=V_m \cos(2\pi F \cdot t)$ .

Le circuit intégré X donne une tension modulée proportionnelle au produit des deux tensions,

$s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$  où  $k$  est une constante dépendant uniquement du circuit intégré.

$s(t)$  s'écrit sous la forme :  $s(t) = S_m \cos(2\pi F t)$ .

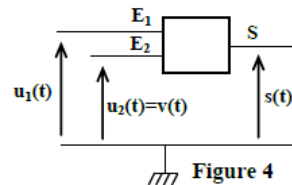
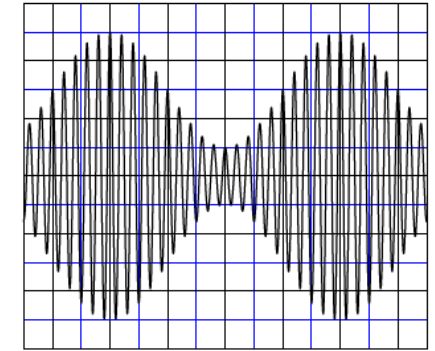


Figure 4

2.1- Montrer que  $S_m$ , amplitude du signal modulé, peut se mettre sous la forme  $S_m = A[m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) + 1]$  en précisant l'expression du taux de modulation  $m$  et celle de la constante  $A$ .

2.2- Le graphe représenté sur la figure (5) donne l'allure de la tension modulée en fonction du temps. Déterminer à partir de ce graphe :

- a- la fréquence  $F$  de l'onde porteuse.
  - b- La fréquence  $f$  du signal modulant.
  - c- L'amplitude minimale  $S_{m(\min)}$  et l'amplitude maximale  $S_{m(\max)}$  du signal modulé.
- 2.3- Donner l'expression du taux de modulation en fonction de  $S_{m(\min)}$  et  $S_{m(\max)}$ . Calculer la valeur de  $m$ .
- 2.4- La modulation effectuée est-elle de bonne qualité ? Justifier.



Sensibilité verticale : 1V/div  
Sensibilité horizontale : 0,25 ms/div

Figure 5

#### 3- Réception d'une onde électromagnétique :

Pour capter une onde électromagnétique de fréquence  $N_0 = 40 \text{ kHz}$  modulée en amplitude, on utilise le dispositif simplifié représenté sur la figure 6.

3-1- Choisir la proposition juste parmi les affirmations suivantes :

- a- La fréquence de l'onde porteuse est très petite devant celle de l'onde modulante.

b- Le rôle de la partie 1 du dispositif est d'éliminer la composante continue.

c- Le rôle des deux parties 2 et 3 du dispositif est de moduler l'onde.

d- Dans une antenne réceptrice, l'onde électromagnétique engendre un signal électrique de même fréquence.

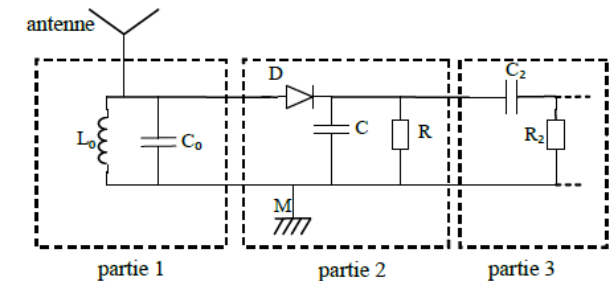


Figure 6

3-2- On associe un condensateur de capacité  $C_0$  avec une bobine

d'inductance  $L_0 = 0,781 \text{ mH}$  dans le circuit d'accord.

Peut-on recevoir l'onde de fréquence  $N_0 = 40 \text{ kHz}$  si  $C_0 = C = 20 \text{ nF}$ ? Justifier la réponse.

3-3- Pour détecter l'enveloppe de l'onde modulée, on utilise le condensateur de capacité  $C = 20 \text{ nF}$  et le conducteur ohmique de résistance  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . Pour avoir une bonne détection d'enveloppe, on monte en parallèle avec le condensateur de capacité  $C$  un autre condensateur de capacité  $C_x$ .

Trouver l'intervalle de valeurs de  $C_x$  sachant que la fréquence de l'information émise est  $N_i = 4 \text{ kHz}$ .

### Exercice 3 :

**Première partie (2,5 pts) Transmission des signaux sonores**

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

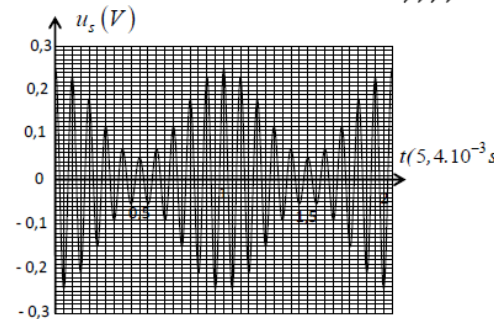
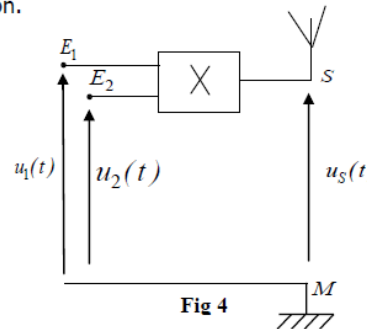
On considère le montage représenté dans la figure 4 ;

- Le générateur  $(GBF)_1$  appliqué à l'entrée  $E_1$  de la composante électronique  $X$  une tension sinusoïdale  $u_1(t) = P_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_p}\right)$

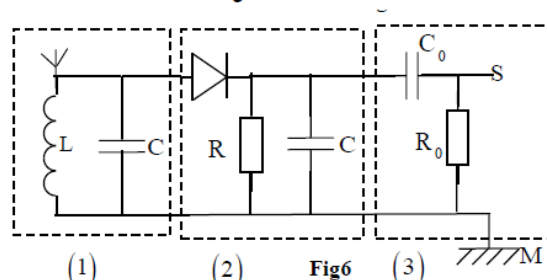
- Le générateur  $(GBF)_2$  appliqué à l'entrée  $E_2$  de la composante électronique  $X$  une tension sinusoïdale  $u_2(t) = U_0 + S(t)$

avec  $U_0$  la composante continue de la tension et  $S(t) = S_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right)$  la tension correspondante à l'onde qu'on désire transmettre.

On visualise sur l'écran d'un oscilloscope la tension de sortie  $u_s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$  avec  $k$  constante positive caractérisant la composante  $X$ , fig 5



الشكل 5



0,75 | 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  $m$ .

0,5 | 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

0,25 | trois parties.

2.1- Préciser le rôle de la partie 3 dans ce montage.

0,5 | 2.2- Déterminer la valeur du produit  $L.C$  pour que la sélection de l'onde soit bonne.

0,5 | 2.3- Montrer que l'intervalle auquel doit appartenir la valeur de la résistance  $R$  pour une bonne

Détection de l'enveloppe de la tension modulante dans ce montage est :  $\frac{4\pi^2 L}{T_p} \ll R \ll \frac{4\pi^2 L T_s}{T_p^2}$   
Calculer les bornes de cet intervalle sachant que  $L = 1,5mH$ .

### Exercice 4 :

**Partie II : Etude de la qualité d'une modulation d'amplitude**

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).

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

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

1- La tension modulée en amplitude peut s'écrire sous la forme :  $u(t) = A \left[ \frac{m}{S_m} s(t) + 1 \right] \cdot \cos(2\pi f_p t)$

avec  $A = k \cdot P_m \cdot U_0$  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  $20 \mu s \cdot div^{-1}$  ;

- Sensibilité verticale :  $1V \cdot div^{-1}$ .

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

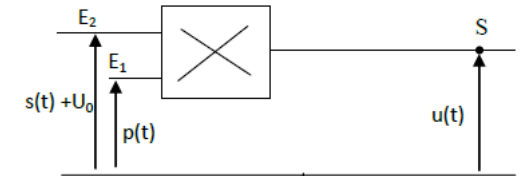


Figure 4

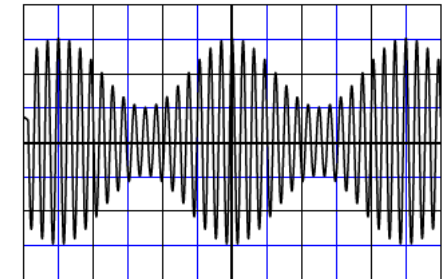


Figure 5

## Exercice 5 :

### Partie II : Réception d'une onde modulée en amplitude (1,5 pts)

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.

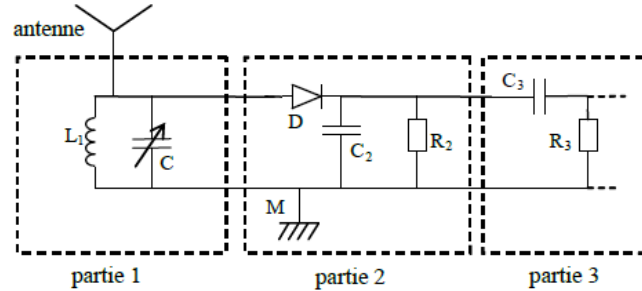


Figure 3

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  $R_2 \cdot C_2$  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

### 3-Emission et réception d'un signal modulé

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 :  $u_s(t) = A[1 + 0,6 \cos(10^4 \pi t)] \cdot \cos(2 \cdot 10^5 \pi t)$ .

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

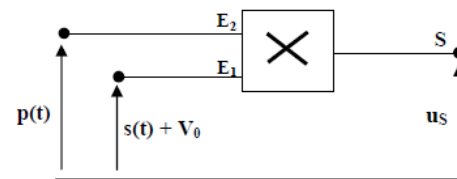


Figure 5

deux valeurs  $6 \cdot 10^{-12} \text{ F}$  et  $12 \cdot 10^{-12} \text{ F}$ .

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

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 .

## Exercice 6 :

### Partie II: Modulation d'amplitude

Pour étudier la modulation d'amplitude et vérifier la qualité de la modulation, au cours d'une séance de TP, le professeur a utilisé avec ses élèves, un circuit intégré multiplieur (X) en appliquant une tension sinusoïdale  $u_1(t) = P_m \cdot \cos(2\pi \cdot F_p \cdot t)$  à son entrée  $E_1$  et une tension

$u_2(t) = U_0 + s(t)$  à son entrée  $E_2$ , avec  $U_0$  la

composante continue de la tension et

$s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t)$  la tension modulante (figure 3).

La courbe de la figure 4 représente la tension de sortie  $u_s(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t)$ , visualisée par les élèves sur

l'écran d'un oscilloscope.  $k$  est une constante positive caractérisant le multiplieur X.

1- Montrer, en précisant les expressions de  $A$  et de  $m$ , que la tension  $u_s(t)$  s'écrit sous la

forme:  $u_s(t) = A[1 + m \cdot \cos(2\pi f_s t)] \cos(2\pi F_p t)$ .

2- En exploitant la courbe de la figure 4 :

2.1- Trouver les fréquences  $F_p$  de la porteuse et  $f_s$  de la tension modulante.

2.2- Déterminer le taux de modulation et en déduire la qualité de modulation.

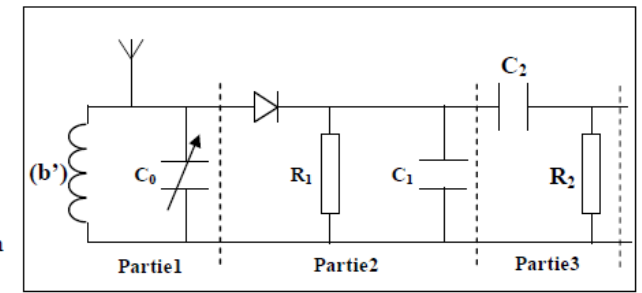


Figure 6

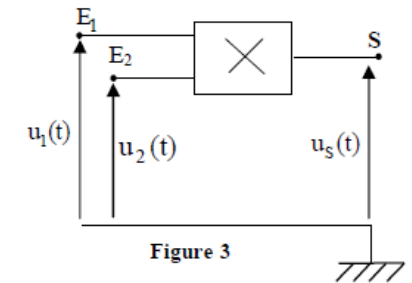


Figure 3

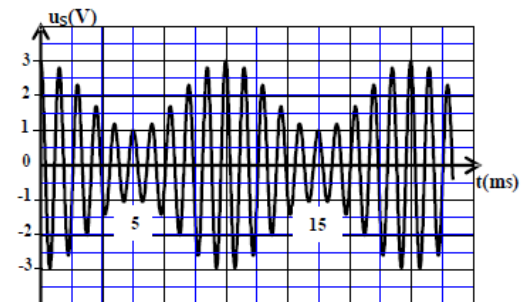
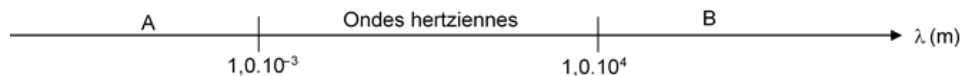


Figure 4

Cet exercice a pour but d'étudier la chaîne complète de télécommunication permettant l'émission puis la réception d'une onde radio. Il fera référence à quelques faits historiques relatifs aux avancées technologiques de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à propos de la transmission d'ondes hertziennes.

### 1. Étude préliminaire : l'onde radio

1.1. Nous rappelons ici que les ondes hertziennes font partie des ondes électromagnétiques dont une partie du spectre est donné ci-dessous :



La lumière visible fait partie des ondes électromagnétiques.

Dans quel domaine (A ou B) peut-on la situer ? Justifier la réponse.

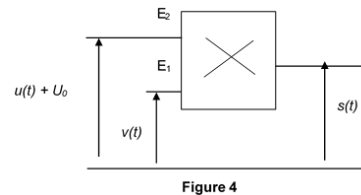
1.2. En 1888, Hertz réalisa un oscillateur qui permettait de générer des ondes électromagnétiques à travers son laboratoire. La célérité de la lumière valant  $c = 3,0 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>, il mesura une longueur d'onde  $\lambda = 9,0$  m.

Calculer la fréquence des ondes qu'il réussit à émettre.

### 2. L'émission de l'onde radio

2.1. Deux physiciens veulent reconstituer une expérience similaire à l'expérience historique, réalisée en 1898, qui permit à Ernest Roger et Eugène Ducretet de transmettre des ondes de la tour Eiffel au Panthéon distant de 4 km.

Au laboratoire, une partie du montage appelée "modulateur", permettant de générer un signal qui sera à l'origine de l'onde radio, peut être schématisé sur la figure 4 ci-dessous :



2.1.1. On applique aux entrées E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub> les tensions  $v(t) = V_m \cos 2\pi Ft$  et  $u(t) = U_m \cos 2\pi ft$  telles que  $F \gg f$ .

Nommer les tensions v(t) et u(t). Que représente la grandeur V<sub>m</sub> ?

2.1.2. À la tension u(t) on ajoute une tension continue U<sub>0</sub>. Nommer cette tension.

2.2. La **FIGURE 5** représente la tension modulée s(t) obtenue par acquisition et traitement informatisés.

2.2.1. Tracer sur la **FIGURE 5** le signal modulant.

2.2.2. À l'aide de la **FIGURE 5**, calculer la période du signal modulé et en déduire sa fréquence.

2.2.3. La modulation est caractérisée par son taux m. Calculer sa valeur en utilisant la **FIGURE 5**

2.2.4. La modulation est-elle satisfaisante ? Justifier la réponse.

2.3. L'antenne émettrice doit respecter certains critères de longueur. En effet, une antenne est accordée sur une fréquence si sa longueur est égale à la moitié de la longueur d'onde correspondante (au quart de la longueur d'onde si l'antenne est verticale et reliée au sol car dans ce cas, le sol joue le rôle de réflecteur) ; c'est pour respecter ces contraintes que l'on installe, en 1898, une antenne émettrice au sommet de la tour Eiffel. Cette antenne est reliée au sol.

Sachant que la hauteur de cette antenne est de 324 m, quelle est la longueur d'onde maximale de l'onde radio que l'on peut émettre ?

Les ondes hertziennes kilométriques, appelées "grandes ondes" ont pour domaine  $1052 \text{ m} \leq \lambda \leq 2000 \text{ m}$  ; était-il possible d'émettre toute la gamme de ces ondes hertziennes depuis la tour Eiffel ? Justifier.

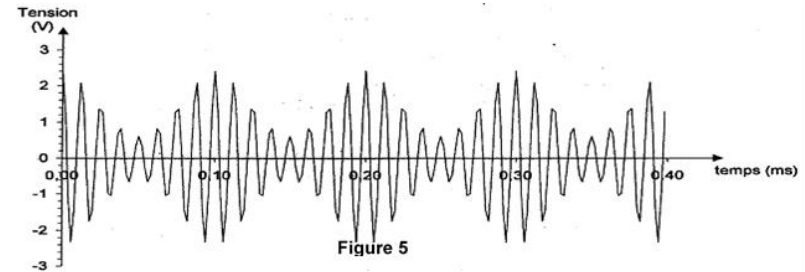


Figure 5

### 3. La réception de l'onde radio

3.1. L'émetteur, au laboratoire des deux expérimentateurs, étant opérationnel, ils décident de mettre en place le récepteur. Ils réalisent la chaîne de réception schématisée sur la figure 6 ci-dessous :

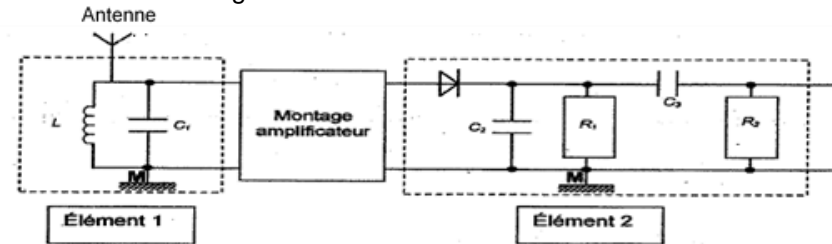


Figure 6

3.1.1. Quel est le rôle de l'élément 1 ? Comment l'appelle-t-on ?

3.1.2. Quel est le rôle de l'élément 2 ? Détailler le rôle de la diode de l'élément 2.

3.2. Ils mettent en place le dispositif et ils désirent obtenir sur l'écran de leur oscilloscope les tensions U<sub>AM</sub>, U<sub>BM</sub> et U<sub>CM</sub> schématisées sur la figure 7 ci-dessous :

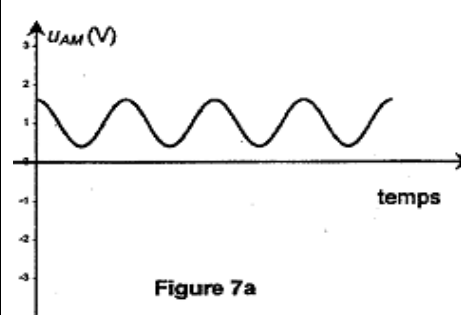


Figure 7a

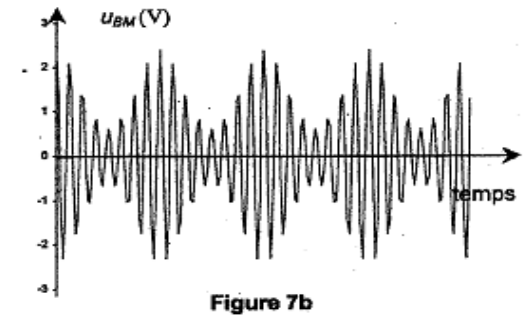
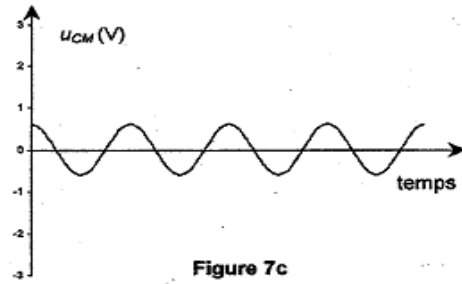


Figure 7b



Placer sur le schéma de la **FIGURE 8**, les points A, B et C permettant l'obtention de ces tensions.

#### 4. La chaîne complète

L'essai étant concluant avec un signal électrique sinusoïdal, les deux physiciens décident de transmettre un son capté par un microphone. Lorsque l'un d'eux parle, l'autre écoute attentivement près du haut parleur appartenant au récepteur et observe l'oscilloscope relié au récepteur.

4.1. Ils constatent que l'oscillogramme obtenu n'est pas sinusoïdal. Que peuvent-ils en conclure quant à la nature du son émis ?

4.2. L'utilisation d'un analyseur de spectre pourrait-elle donner d'autres informations ? Lesquelles ?