

Série N°1 : La modulation d'amplitude

Exercice 1 :

Type BAC

15min

Appli.

Au cours d'une séance de travaux pratiques, les élèves réalisent un montage permettant d'émettre puis de recevoir un signal radio.

1. Émission du signal.

Le montage de modulation d'amplitude, utilisé pour l'émission et réalisé à l'aide d'un multiplieur, est représenté sur la figure 1 ci-contre :

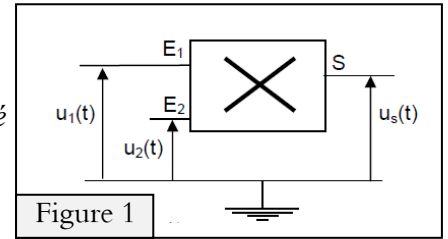


Figure 1

➤ Pour engendrer l'onde porteuse de fréquence  $F_p$ , on envoie sur l'entrée  $E_1$  du multiplieur la tension  $u_1(t) = p(t) = P_m \cos(2\pi F_p t)$ .

➤ Le signal à transmettre, de fréquence  $f_s$  et d'amplitude  $S_m$  est  $s(t) = S_m \cos(2\pi f_s t)$ . On lui ajoute une tension continue  $U_0$ , appelée tension de décalage ou tension offset.

On obtient alors  $u_2(t) = U_0 + s(t) = U_0 + S_m \cos(2\pi f_s t)$  qu'on envoie sur l'entrée  $E_2$ .

À l'aide d'un dispositif d'acquisition de données, branché sur la sortie  $S$  du multiplieur, on observe sur l'écran de l'ordinateur, la courbe  $u_s(t)$  représentée ci-dessous (fig. 2)

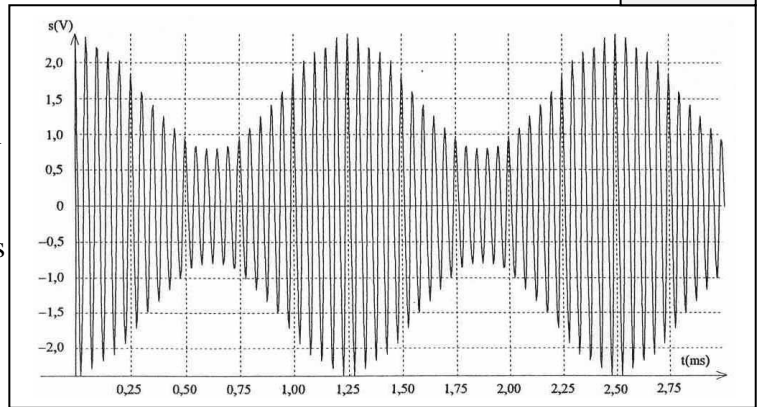


Figure 2

1.1. Pourquoi faut-il ajouter une tension de décalage au signal à transmettre ?

1.2. Quelle condition doit vérifier le rapport

$$m = \frac{S_m}{U_0} \text{ pour réaliser une bonne modulation}$$

1.3. Le multiplieur donne en sortie une tension  $s(t)$  proportionnelle au produit des tensions appliquées sur les entrées :

$u_s(t) = k \cdot u_1(t) \times u_2(t)$ . Le coefficient  $k$  est une constante qui ne dépend que du multiplieur.

1.3.1. Montrer que  $s(t)$  peut se mettre sous la forme  $u_s(t) = A \times [1 + m \cos(2\pi f_s \cdot t)] \cos(2\pi F_p \cdot t)$  dans laquelle  $A$  est une constante.

1.3.2. Donner l'expression de  $A$  en fonction de  $k$ ,  $P_m$  et  $U_0$ .

1.3. En utilisant la courbe de la figure 2, déterminer  $f_s$  et  $F_p$ . Justifier la méthode utilisée.

2. Réception du signal.

La réception du signal se fait à l'aide du montage représenté ci-dessous (figure 3). Ce montage est constitué de plusieurs modules branchés les uns après les autres.

2.1. Le premier module, noté a) sur la figure 3, est le circuit d'accord. Quel est son rôle ?

2.1.1. Comment procède-t-on pour "capter" une station radio ?

2.1.2. Vérifier que lorsque  $L = 62 \text{ mH}$ , le circuit est accordé sur l'émetteur réalisé au 1. On donne  $C = 1 \text{ nF}$ .

2.2. Comment s'appelle Le deuxième module (noté b) sur le schéma? Quel est son rôle ?

2.3. Un élève a représenté sur la figure 4, en trait gras, le signal qu'il observe sur l'écran lorsque le système d'acquisition est branché à la sortie du détecteur de crête.

➤ Ce schéma vous semble-t-il correct ? Justifier la réponse.

2.4. Quel est le rôle du troisième module (c) ?

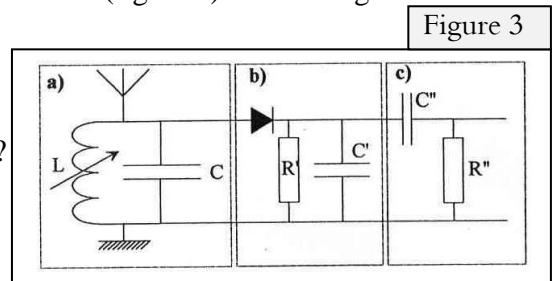


Figure 3

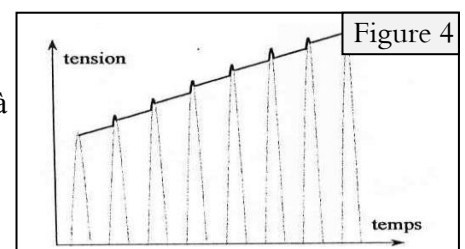
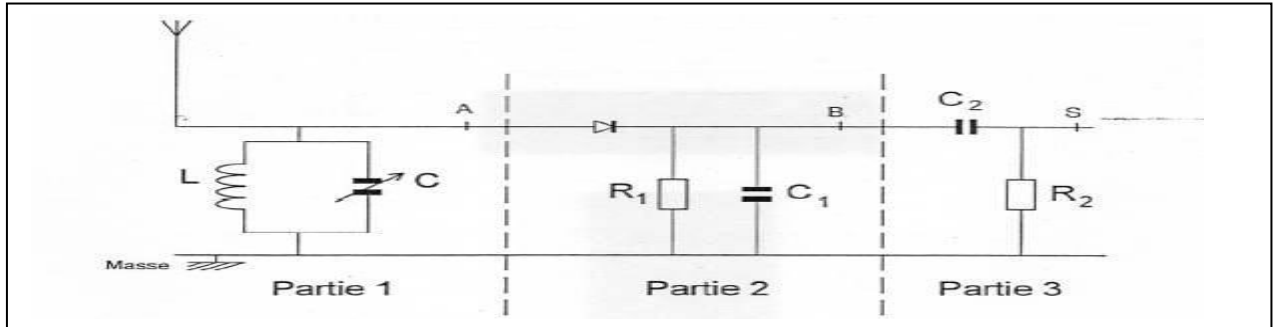


Figure 4

## ■ Réception :

Un modèle de récepteur radio est représenté par le schéma simplifié ci-dessous dans lequel on distingue trois parties.

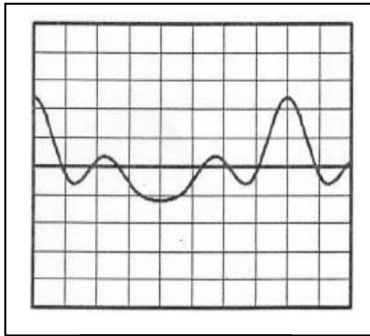


## 1. Etude de la partie 1 du circuit :

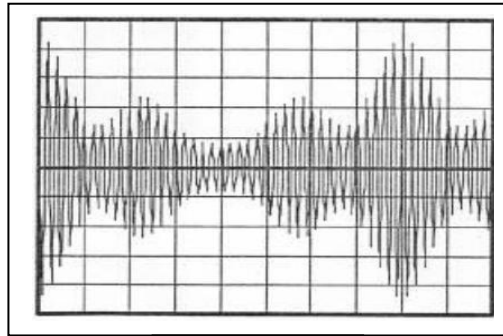
- 1.1. Expliquer brièvement son rôle.
- 1.2. La bobine a une inductance  $L$  de 1,0 mH. Quelles doivent être les limites de la valeur de la capacité  $C$  du condensateur variable si on veut pouvoir capter des porteuses dont la fréquence soit comprise entre 1,0 kHz et 10 kHz ?

## 2. Etude des parties 2 et 3 du circuit :

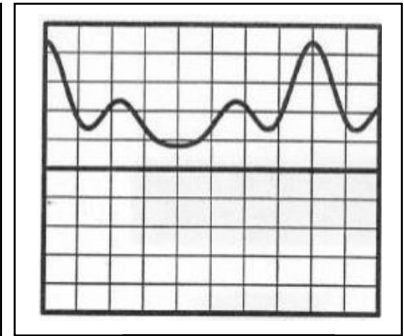
- 2.1. Indiquer brièvement le rôle de chacune de ces deux parties.
  - 2.2. Pour visualiser différentes tensions, on utilise oscilloscope dont les réglages sont les suivants :
    - Sensibilité verticale :  $5V.div^{-1}$ ;
    - Base de temps :  $1ms.div^{-1}$ ;
    - Trace du spot positionnée au centre de l'écran en l'absence de tension appliquée ;
    - Touche DC active.
- On obtient les trois oscillogrammes représentés ci-dessous :



Oscillogramme 1



Oscillogramme 2



Oscillogramme 3

- 2.1. Indiquer l'oscillogramme correspondant à chacune des tensions suivantes :
  - Tension  $u_{AM}$  entre le point A et la masse M ;
  - Tension  $u_{BM}$  entre le point B et la masse M ;
  - Tension  $u_{SM}$  entre le point S et la masse M.
- 2.2. En utilisant l'un de ces oscillogrammes, déterminer la fréquence  $f$  de l'onde porteuse.

■ Étude de la modulation :

Lors d'une séance de travaux pratiques, un élève réalise des expériences qui illustrent l'émission et la réception d'un signal sinusoïdal de fréquence  $f_m = 500 \text{ Hz}$ .

Pour réaliser une modulation d'amplitude, les élèves utilisent un montage multiplieur (représenté sur la figure ci-dessous) agissant sur les tensions  $u_1(t)$  et  $u_2(t)$  dont les expressions sont :

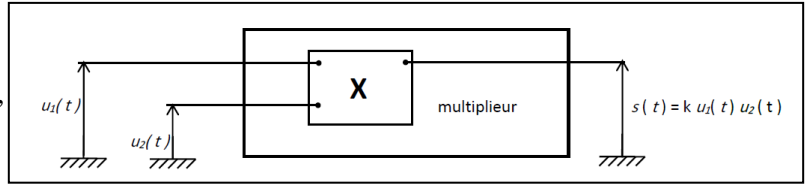
$$u_1(t) = U_0 + U_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$u_2(t) = U_p \cos(2\pi f_p t)$$

avec  $U_m \cos(2\pi f_m t)$  la tension modulante,

$U_0$  une tension constante positive et

$u_2(t) = U_p \cos(2\pi f_p t)$  la tension porteuse.



1. Ce montage délivre une tension de sortie  $s(t)$  telle que  $s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$ . où  $k$  est un coefficient caractéristique du multiplieur.

1.1. Quelle est l'unité du coefficient  $k$  ?

1.2. La tension de sortie  $s(t)$  peut se mettre sous la forme :  $s(t) = A \times [1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_p t)$

avec  $A = k.U_0.U_p$  et  $m = (\text{taux de modulation})$ .  $m = U_m / U_0$

On veut éviter la sur modulation qui se produit lorsque l'amplitude du signal modulant est supérieure à  $U_0$ . Dans quel intervalle de valeurs doit se situer le taux de modulation  $m$  pour réaliser une bonne modulation d'amplitude ?

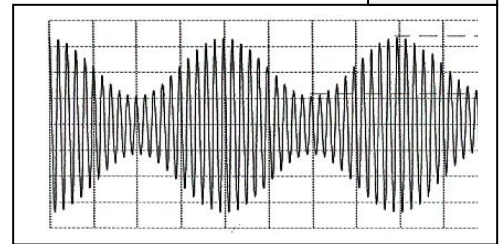
2. L'élève visualise la tension  $s(t)$  à l'aide d'un oscilloscope, il obtient la courbe suivante :

Figure 1

Réglages de l'oscilloscope :

Balayage :  $0,5 \text{ ms / div}$

Sensibilité verticale :  $0,5 \text{ V / div}$



2.1. montrer que le taux de modulation  $m$  peut s'exprimer selon

$$\text{la relation : } m = \frac{S_M - S_m}{S_M + S_m}$$

2.2. Les grandeurs  $S_M$  et  $S_m$  sont représentées sur la figure 1.

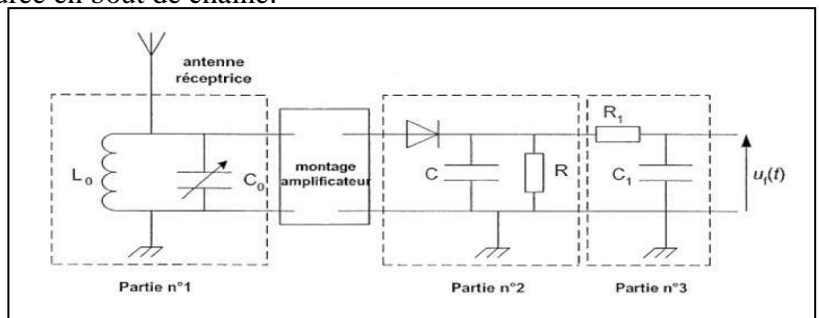
2.2.1. À partir de la figure 1, déduire une valeur numérique approchée de  $m$ .

2.2.2. Vérifier que la fréquence de la porteuse utilisée est  $f_p = 10 \text{ kHz}$ .

3. Réception du signal modulé et démodulation

La tension  $s(t)$  est appliquée à une antenne qui émet alors un signal électromagnétique reproduisant les mêmes variations que  $s(t)$ . Un peu plus loin, l'élève place une antenne réceptrice servant à capter le signal. Cette antenne est reliée à un circuit électrique ( figure ci dessus) comportant plusieurs parties aux fonctions distinctes. On appelle  $u_f(t)$  la tension mesurée en bout de chaîne.

3.1. La partie n°1 est constituée d'une bobine d'inductance  $L_0 = 2,5 \text{ mH}$  et d'un condensateur de capacité  $C_0$  ajustable, l'ensemble constituant un dipôle  $L_0 C_0$  en dérivation. Ce dipôle oscille avec une fréquence propre dont l'expression est :  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}$



On rappelle que la fréquence de la porteuse est  $10 \text{ kHz}$  et celle du signal modulant  $500 \text{ Hz}$ .

3.1.1. Quelle est la fonction de cette partie dans le montage ?

3.1.2. Quelle valeur doit-on choisir pour  $C_0$  pour que cette fonction soit effectivement remplie ?

3.2. La partie n°2 comprend une diode, un conducteur ohmique de résistance  $R$  et un condensateur de capacité  $C$ . Cet ensemble constitue ce que l'on appelle un détecteur de crête. Sa fonction est d'obtenir une tension proportionnelle à la tension  $u_1(t)$  introduite à la question 2.

3.3. Quelle condition doit remplir, la constante de temps du dipôle  $RC$ , pour obtenir une bonne démodulation ?

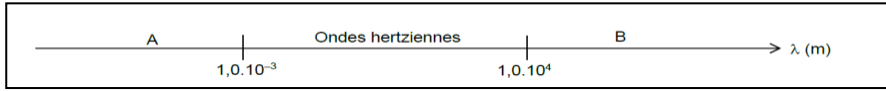
3.4. Sachant que  $C = 500 \text{ nF}$ , choisir parmi les valeurs suivantes, la valeur de  $R$  qui vous paraît la mieux convenir pour remplir convenablement cette fonction :  $20 \Omega$  ;  $200 \Omega$  ;  $2,0 \text{ k}\Omega$  ;  $20 \text{ k}\Omega$ .

3.5. Quel est le rôle de la partie n°3 ?

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-contre :



La lumière visible fait partie des ondes électromagnétiques.

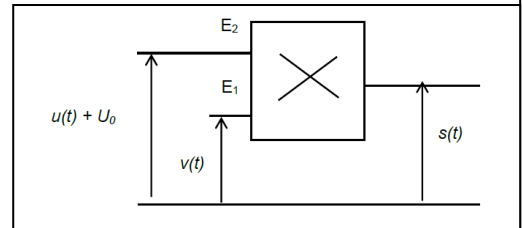
➤ Dans quel domaine (A ou B) peut-on la situer ? Justifier la réponse.

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  $c = 3,0.10^8$  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 ci-dessous :



2.1.1. On applique aux entrées  $E_1$  et  $E_2$  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  $V_m$  ?

2.1.2. À la tension  $u(t)$  on ajoute une tension continue  $U_0$ . Nommer cette tension.

2.2. La figure 1 ci après représente la tension modulée  $s(t)$  obtenue par acquisition et traitement informatisés.

2.2.1. Tracer sur la cette figure le signal modulant.

2.2.2. À l'aide de cette figure, calculer la période du signal modulé et en déduire sa fréquence.

2.2.3. Calculer le taux de modulation  $m$ .

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.

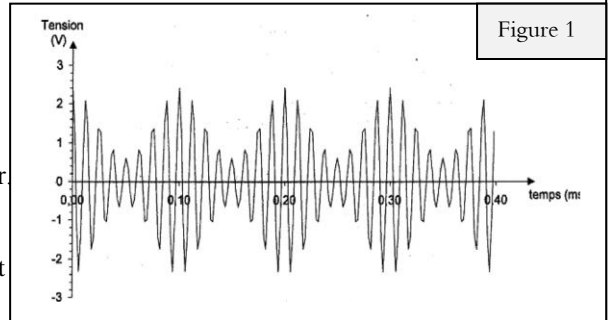


Figure 1

**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 2 ci-dessous :

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  $u_{AM}$ ,  $u_{BM}$  et  $u_{CM}$  schématisées sur la figure 3 ci-dessous :

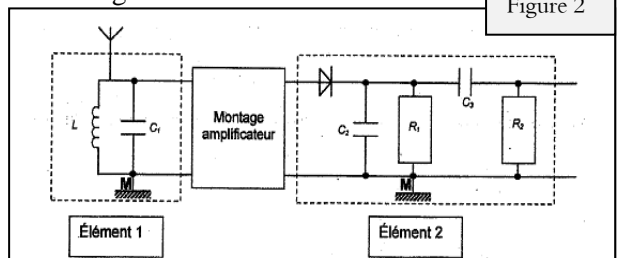


Figure 2

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

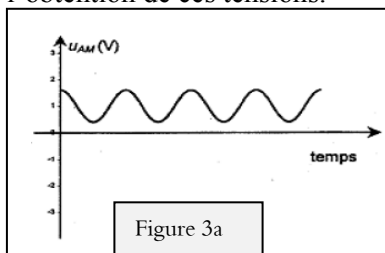


Figure 3a

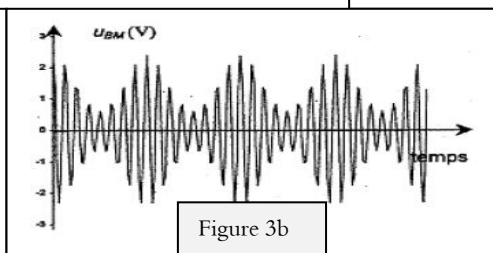


Figure 3b

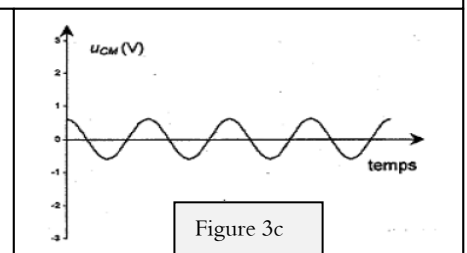


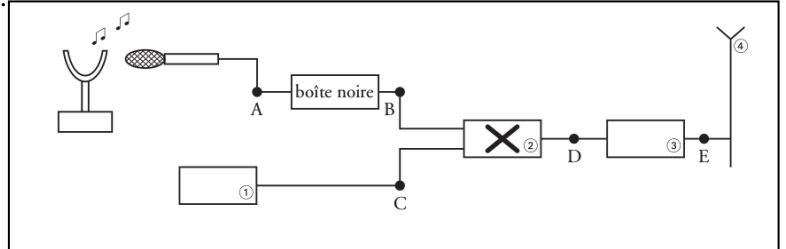
Figure 3c

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.

**I. La chaîne de transmission :**

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

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.

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  $u_m(t)$ .

3. Le signal électrique recueilli en A à la sortie du microphone correspond à la tension électrique  $u_s(t)$ .

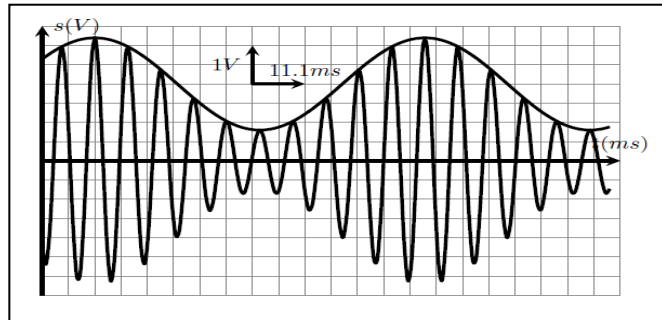
Une boîte noire est intercalée entre les points A et B. Quel est son rôle ? 4. Le dispositif électronique - effectue une opération mathématique simple qui peut être :

- \*  $(u_s(t) + U_0) + u_p(t)$  ;
- \*  $(u_s(t) + U_0) \times u_p(t)$ .

Choisir la bonne réponse sachant que l'expression mathématique du signal obtenu est :  $u_m(t) = k(U_0 + u_s(t))U_{p(max)} \cos(2\pi Ft)$

**II. 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 :



1. Estimer les valeurs des périodes  $T_s$  et  $T_p$  du signal modulant et de la porteuse.
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.
3. L'amplitude de la tension du signal modulé  $u_m(t)$  varie entre deux valeurs extrêmes, notées respectivement  $U_{m(max)}$  et  $U_{m(min)}$ . déterminer le taux de **modulation m**. Conclusion.
4. Le taux de modulation s'exprime aussi en fonction de la tension maximale du signal modulant  $U_{s(max)}$  et de la tension  $U_0$ . Donner cette relation.
  - Quelle condition doit-on satisfaire pour obtenir un taux de modulation  $m < 1$  ?
  - Quelle autre condition est nécessaire pour obtenir une bonne modulation ?
5. 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.

