



**Exercice III : Émission et réception des ondes électromagnétiques
(4 points)**

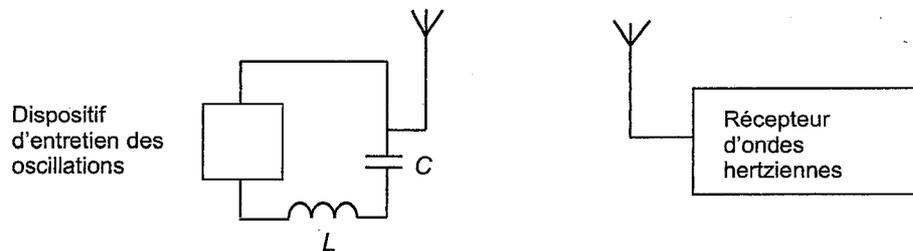
1. Émission des ondes électromagnétiques.

Les ondes électromagnétiques, se propageant à grande vitesse et même en l'absence de milieu matériel, constituent un support de choix pour la transmission de l'information. Depuis la première production et détection d'ondes électromagnétiques par Hertz en 1888 des progrès importants ont été réalisés.

1.1. Sur les pas de Hertz.

En 1888 Hertz met au point un oscillateur permettant de rayonner des ondes électromagnétiques par une série d'étincelles entre deux sphères légèrement espacées. Ces étincelles résultent de décharges électriques oscillantes entre les deux sphères qui jouent le rôle d'un condensateur. On peut estimer la durée d'une oscillation à un cent millionième de seconde.

On assimilera par la suite l'oscillateur de Hertz à un dipôle LC muni d'un dispositif d'entretien des oscillations. Un tel dipôle muni d'une antenne est capable de produire des ondes électromagnétiques de période $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$.



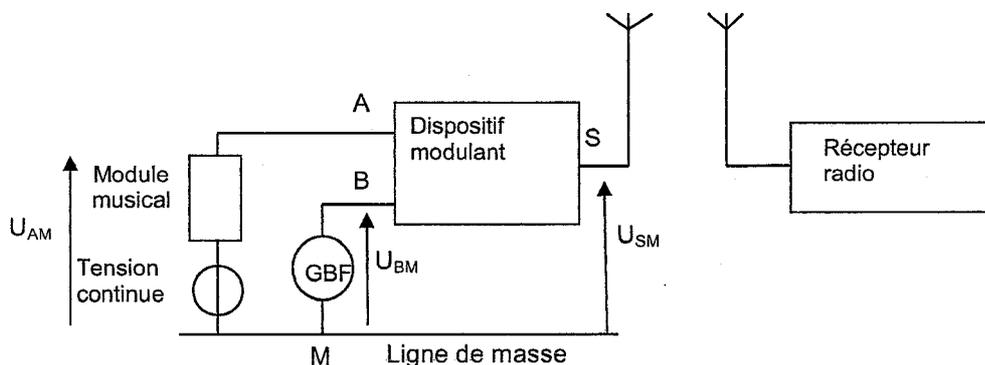
1.1.1. Du point de vue énergétique, quel est le rôle du dispositif d'entretien des oscillations ?

1.1.2. Déterminer l'inductance L de l'oscillateur de Hertz sachant que la capacité du condensateur est $C = 10 \text{ pF}$.

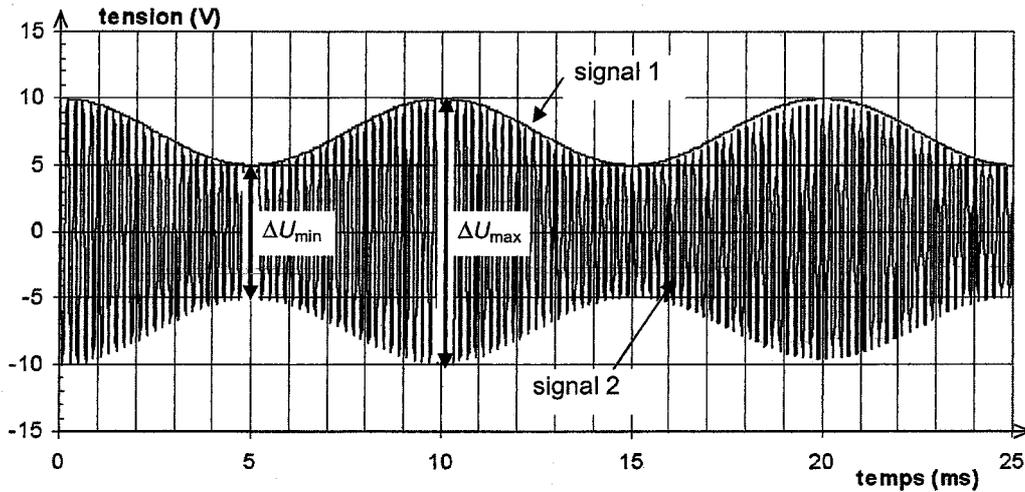
1.2. Sur les traces de Marconi.

En 1895 Marconi réalise la première liaison radio sur plusieurs kilomètres.

On désire réaliser la transmission par voie hertzienne d'un signal sonore sinusoïdal enregistré sur un module musical. Pour ce faire on réalise le dispositif suivant :



Un ordinateur muni d'une interface permet d'observer deux des trois tensions représentées sur le schéma précédent :



1.2.1. Attribuer à chaque signal la tension enregistrée. Justifier la réponse.

1.2.2. Déterminer la fréquence du signal sonore enregistré.

1.2.3. Déterminer ΔU_{\max} et ΔU_{\min} puis calculer le taux de modulation $m = \frac{\Delta U_{\max} - \Delta U_{\min}}{\Delta U_{\max} + \Delta U_{\min}}$

1.2.4. Cas de la surmodulation

1.2.4.1. Quelle est la condition pour ne pas avoir de surmodulation ?

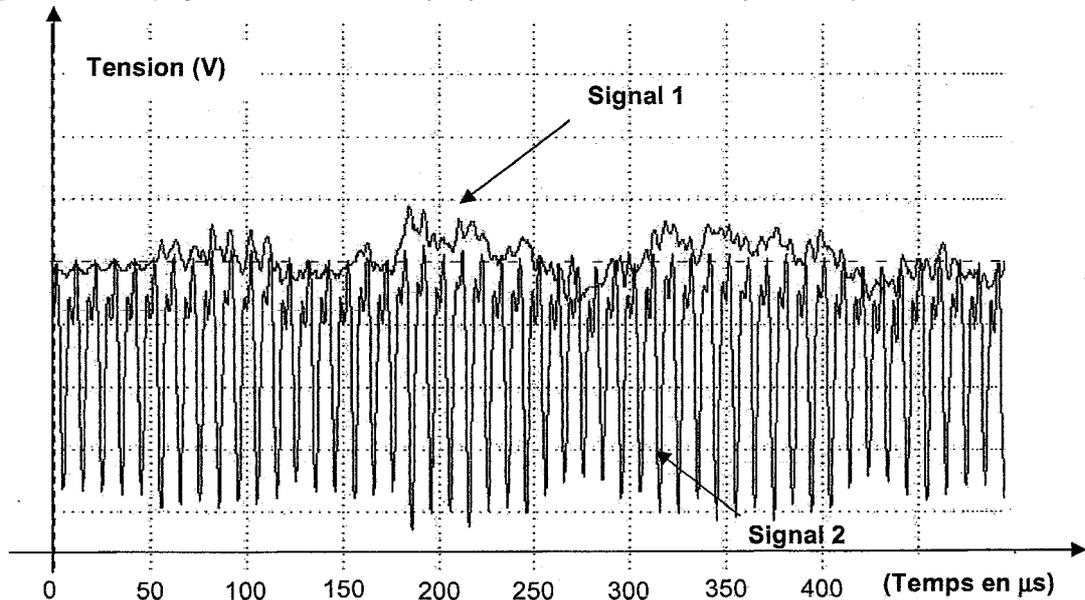
1.2.4.2. Représenter une situation de surmodulation sur la figure de l'annexe page 12.

1.2.4.3. Pourquoi faut-il éviter le phénomène de surmodulation ?

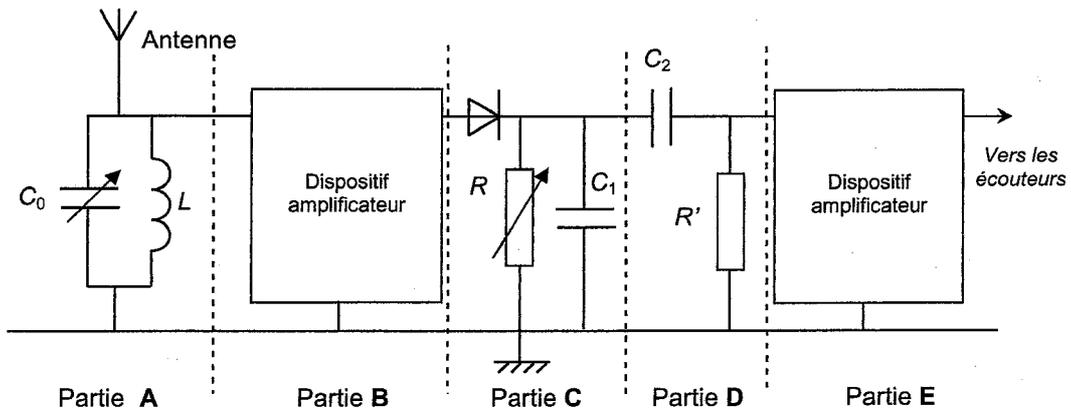
1.2.4.4. Quelle tension faut-il modifier pour éviter ce phénomène ?

2. Réception des ondes radio.

On a enregistré cette fois-ci une mélodie sur le module musical ; on observe au niveau de l'émetteur les deux signaux 1 et 2 qui jouent le même rôle que précédemment dans la première partie.



Afin de pouvoir capter à distance le signal enregistré on réalise le circuit récepteur d'ondes radio ci-dessous ; on s'intéresse alors au rôle joué par chacune des parties du montage.

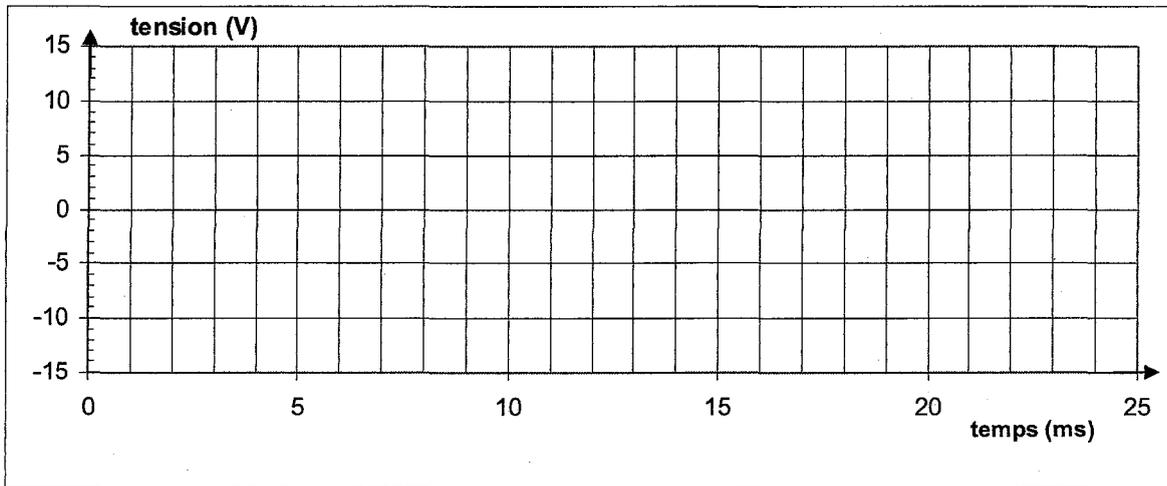


- 2.1. Quel est le rôle de la partie A ?
- 2.2. On capte de façon optimale le signal en ajustant C_0 à la valeur de $6,3 \cdot 10^{-10}$ F. L'inductance de la bobine vaut $L = 4,0$ mH.
Montrer que cette valeur est en accord avec l'oscillogramme.
- 2.3. Quel est le rôle de la partie C ?
- 2.4. Rappeler, en précisant les unités, l'expression de la constante de temps τ du dipôle (RC_1)
- 2.5. Pour avoir une bonne détection d'enveloppe la constante de temps τ doit avoir une valeur comprise dans l'intervalle : $T_p \ll \tau < T_m$ avec T_p : période de la porteuse et T_m : période correspondant à la fréquence moyenne f_m du signal modulant.
 - 2.5.1. En admettant que les ondes sonores enregistrées sont dans une gamme de fréquences voisines de $f_m = 5,0$ kHz, déterminer la période T_m du signal modulant.
 - 2.5.2. Sachant que $C_1 = 10$ nF, exprimer R sous forme d'un intervalle de valeur de résistances pour que les conditions d'une bonne détection d'enveloppe soient requises.
- 2.6. Quel est le rôle du dipôle série ($R'C_2$) ?
- 2.7. Après une dernière amplification du signal on peut enfin écouter le signal sonore. Le son perçu est-il pur ou complexe ? Justifier.

Aide aux calculs : $\pi^2 = 10$; $2\pi \times 1,6 = 10$; $\sqrt{2,52} = 1,6$; $\sqrt{252} = 16$

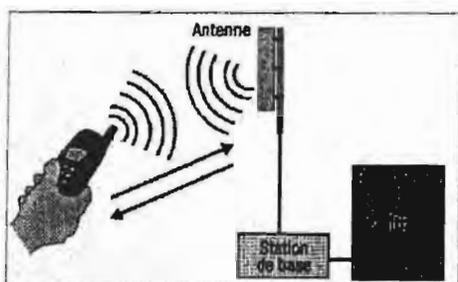
ANNEXES (suite)

Exercice III : Partie I) Question 1.2.4.2 : graphe à tracer



EXERCICE III. TÉLÉPHONE PORTABLE ET ONDES RADIO (4 points)

1. Les ondes électromagnétiques pour communiquer.



Le téléphone portable fonctionne comme une radio. Lors d'une communication, la voix est convertie en un signal électrique par un microphone. Grâce à un système de conversion numérique et de modulation, ce signal électrique est couplé à une onde porteuse qui, après amplification, est émise vers l'antenne la plus proche. Celle-ci transmet le signal à une station de base qui l'envoie alors à une centrale, par ligne téléphonique conventionnelle ou par faisceaux hertziens. De là sont acheminées les conversations vers le téléphone du destinataire, selon le même processus, mais en sens inverse (non représenté sur le schéma). Après démodulation et conversion

analogique, le signal électrique est transformé en signal sonore par le haut parleur de l'appareil récepteur.

Les ondes électromagnétiques sont déjà très largement utilisées pour la télévision, la radio, la C.B. et les radars, si bien que les gammes de fréquences restantes pour les portables sont de plus en plus restreintes. L'une d'entre elles s'étend de 890 à 915 MHz. Or, un appel nécessite une bande passante de 200 kHz. Autrement dit, dans cette bande de fréquences de largeur 25 MHz, on ne devrait pouvoir passer que 125 appels simultanément.

La solution a été le fractionnement du réseau en cellules (d'où le terme parfois utilisé de téléphone "cellulaire"). Le territoire français a donc été divisé en 40 000 parcelles, chacune comportant des antennes assurant la liaison avec les téléphones mobiles situés dans leur zone d'influence. Chaque parcelle possède ses propres fréquences, différentes de celles des parcelles voisines. Pas de risque d'interférences, donc...

D'après : <http://www.linternaute.com/portable/>

- 1.1. Quel est l'ordre de grandeur de la fréquence des ondes porteuses utilisées pour le téléphone portable ?
- 1.2. En déduire l'ordre de grandeur de sa longueur d'onde dans le vide.

On donne la célérité de la lumière dans le vide $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

2. L'émission d'une onde électromagnétique par un portable.

On peut représenter symboliquement la chaîne d'émission par le schéma de la figure 1 :

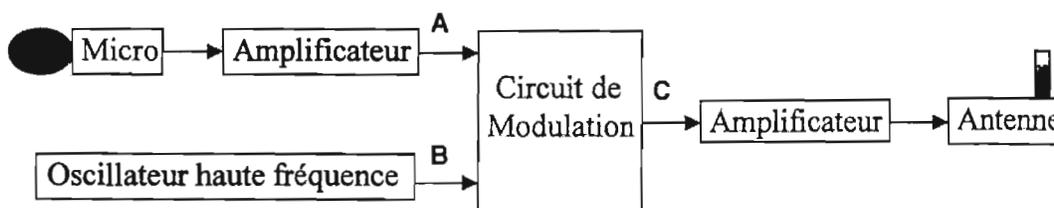


Fig 1

2.1. En quel point, **A**, **B** ou **C** de la figure 1 trouve-t-on :

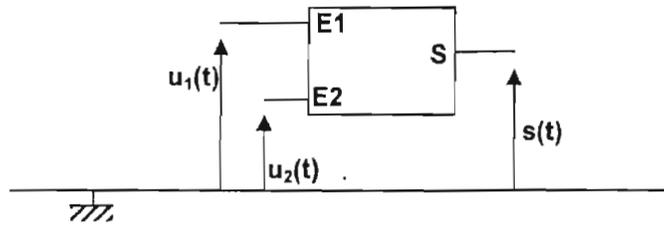
- 2.1.1. L'onde porteuse ?
- 2.1.2. Le signal modulant ?

2.2. L'onde porteuse est sinusoïdale et a pour expression $v(t) = V_m \cos(2\pi f_p t)$. Le signal modulant est en général complexe, mais comme tout signal périodique, il peut se mettre sous la forme d'une somme de fonctions sinusoïdales.

Pour simplifier, nous prendrons pour le signal modulant, l'expression : $u(t) = U_m \cos(2\pi f_m t)$. On envisage une modulation d'amplitude, c'est-à-dire que le signal modulant va modifier l'amplitude de la porteuse.

2.2.1. Pour obtenir une modulation de bonne qualité, faut-il choisir f_p très supérieure ou très inférieure à f_m ?

2.2.2. Le circuit de modulation est constitué d'un composant nommé « multiplieur ». On branche respectivement, sur l'entrée E_1 de ce circuit, le signal modulant $u(t)$ additionné d'une tension de décalage U_0 , sur l'entrée E_2 , le signal de la porteuse $v(t)$, et on recueille en sortie le signal modulé, nommé $s(t)$.



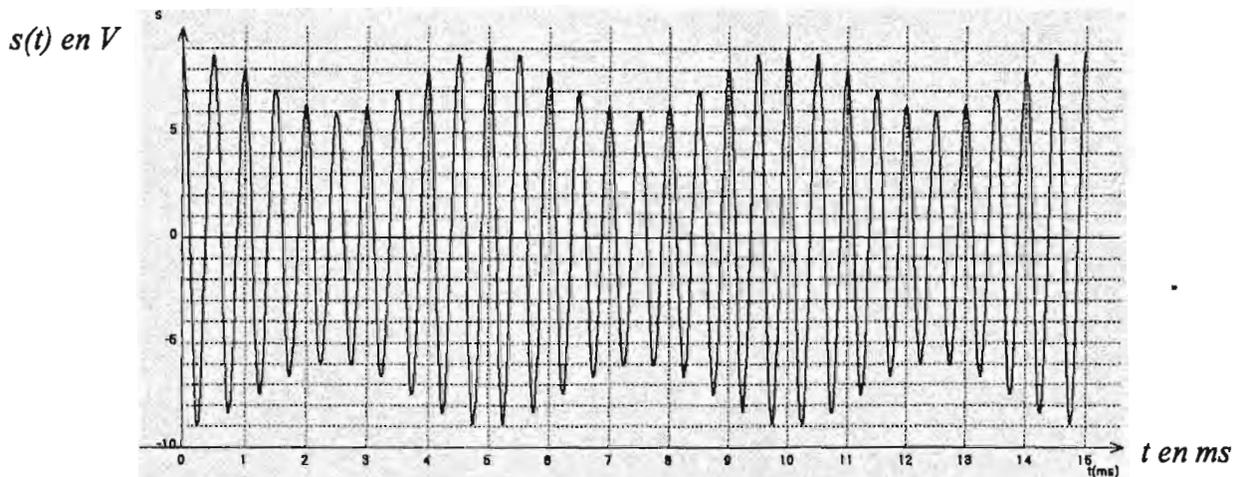
Avec $u_1(t) = u(t) + U_0$ et $u_2(t) = v(t)$

Sachant que $s(t)$ a pour expression générale $s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$, où k est une constante dépendant uniquement du circuit électronique, écrire $s(t)$ sous la forme $s(t) = S_m \cos(2\pi f_p t)$ et identifier S_m , l'amplitude du signal modulé.

2.2.3. En posant $A = k.V_m.U_0$ et $m = U_m/U_0$, montrer que S_m peut se mettre sous la forme $S_m = A(m.\cos 2\pi f_m t + 1)$

2.2.4. Quelle condition doit remplir m , le taux de modulation, pour que celle-ci soit de bonne qualité ?

2.3. Afin d'étudier le phénomène de modulation d'amplitude, on utilise un logiciel de simulation qui permet d'obtenir l'allure de la tension modulée $s(t)$ en fonction du temps. Les valeurs numériques ont été choisies pour une lecture facile mais ne représentent pas l'onde réelle émise par un portable.



2.3.1. Déterminer la fréquence f_p de la porteuse, utilisée pour la simulation.

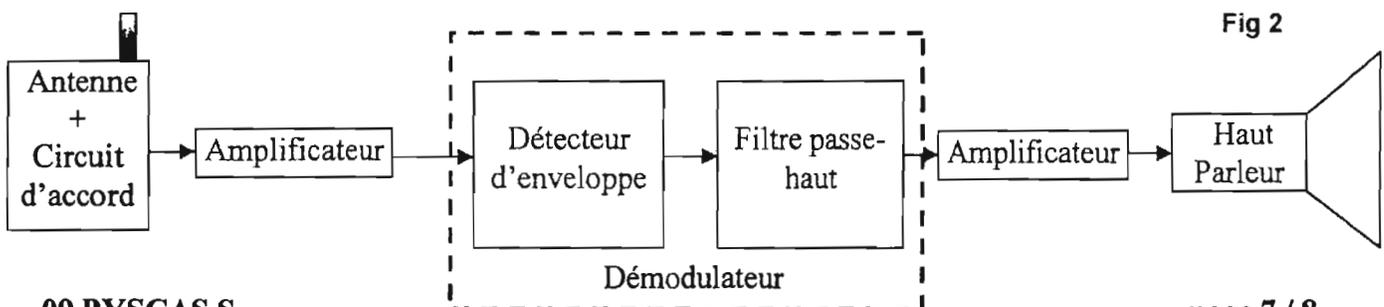
2.3.2. Déterminer la fréquence f_m du signal modulant, utilisé pour la simulation.

2.3.3. Déterminer $S_{m \max}$ et $S_{m \min}$, les valeurs maximale et minimale de l'amplitude du signal modulé et en

déduire le taux de modulation défini par :
$$m = \frac{S_{m \max} - S_{m \min}}{S_{m \max} + S_{m \min}}$$

3. La réception d'une onde électromagnétique et sa démodulation.

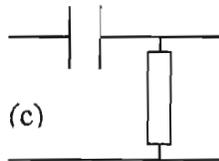
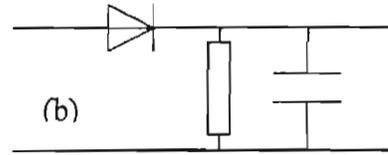
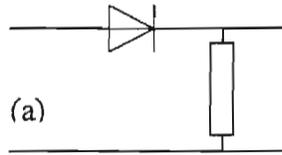
On peut représenter symboliquement la chaîne de réception par le schéma de la figure 2 :



3. Parmi les circuits ci-dessous, indiquer celui qu'il convient d'utiliser :

3.1. pour le détecteur d'enveloppe.

3.2. pour le filtre passe-haut.



EXERCICE III : ÉMISSION ET RECEPTION EN GRANDES ONDES (4 points)

Les grandes ondes (150 kHz à 255 kHz) sont utilisées par les stations de radio en modulation d'amplitude, pour des communications à moyenne distance (500 à 1000 km).

Différentes stations radiophoniques comme France Inter, Europe 1 ou RMC émettent encore en modulation d'amplitude sur les grandes ondes.

L'exercice s'intéresse au principe d'émission puis de sélection au niveau du poste de radio de l'auditeur.

Données :

Célérité du son dans l'air : $c_{son} = 340 \text{ m.s}^{-1}$
Célérité des ondes électromagnétiques dans l'air : $c_{lum} = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$
Longueur d'onde de la station France Inter : $\lambda = 1852 \text{ m}$
Fréquences d'émission de station : Europe 1 : $f_1 = 183 \text{ kHz}$ RMC : $f_2 = 214 \text{ kHz}$

L'association parallèle d'une bobine d'inductance L et d'un condensateur de capacité C oscille avec une fréquence propre dont l'expression est : $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Les trois parties sont indépendantes.

1. Caractéristique des ondes émises

Montrer que les ondes émises par l'émetteur de France Inter appartiennent bien aux grandes ondes.

2. Transmission par modulation d'amplitude

Pour pouvoir transmettre l'information sur de longues distances, il convient de réaliser une modulation d'amplitude : l'amplitude d'une tension sinusoïdale de haute fréquence appelée porteuse est modulée par le signal à transmettre appelé signal modulant. Le signal obtenu après modulation est appelé signal modulé et sera noté par la suite $u_m(t)$.

En radiophonie, l'information à transmettre est constituée par un ensemble de signaux sinusoïdaux dont la fréquence varie de quelques hertz à quelques kilohertz. La fréquence maximale de l'information à transmettre sera notée f_m . On suppose par la suite que l'information à transmettre est purement sinusoïdale de fréquence f_m .

Le signal modulé est représenté sur la figure 1 en ANNEXE page 12 à rendre avec la copie (l'enveloppe du signal est aussi mise en évidence sur le document 1 pour plus de lisibilité).

2.1. Déduire de la figure 1 en ANNEXE page 12 à rendre avec la copie la fréquence du signal modulant f_m .

2.2. La période de la porteuse est égale à $T_p = 5,46.10^{-6} \text{ s}$.

2.2.1. Calculer la fréquence de la porteuse que l'on notera f_p par la suite.

2.2.2. En déduire à l'aide des données écrites en début d'exercice la station dont provient le signal.

2.3. L'allure du spectre fréquentiel de ce signal modulé est donnée figure 2 en ANNEXE page 12 à rendre avec la copie.

2.3.1. Compléter ce schéma en précisant les fréquences correspondant aux trois pics.

2.3.2. Quelle sera alors la largeur de la bande de fréquence occupée par ce signal ?

3. Réception de l'onde hertzienne recherchée

- 3.1. Quel est le nom du dispositif correspondant à l'étage n°1 sur la figure 3 de l'ANNEXE page 13 à rendre avec la copie ? Quel signal sélectionne-t-il ?
- 3.2. En s'aidant des données et des indications portées sur la figure 3 de l'ANNEXE page 13 à rendre avec la copie, quelle doit être la valeur de l'inductance L de la bobine afin de recevoir Europe 1 ?
- 3.3. Si l'on veut récupérer uniquement l'information présente dans le signal modulé, il faut réaliser une démodulation. Ceci est réalisé grâce aux étages n° 2 et 3 présentés sur la figure 3 de l'ANNEXE page 13 à rendre avec la copie.

3.3.1. Expliquer succinctement le rôle de l'étage n° 2.

3.3.2. *Pour réaliser une démodulation satisfaisante, la constante de temps du dipôle R'C' de l'étage n°2 doit être très supérieure à la période de la porteuse et inférieure à la période du signal modulant.*

On dispose au laboratoire d'un nombre restreint de résistances et de capacités :

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 100 \text{ k}\Omega \quad C_1 = 0,47 \text{ nF} \quad C_2 = 0,47 \text{ }\mu\text{F}.$$

Choisir parmi ces valeurs (en justifiant votre choix), le ou les couples de composants adéquats afin de réaliser une démodulation correcte de la station Europe 1 en supposant comme indiqué précédemment, que l'information à transmettre est purement sinusoïdale de fréquence $f_m = 4,5 \text{ kHz}$.

3.3.3. Expliquer succinctement le rôle de l'étage n°3.

- 3.4. On suppose maintenant que la tension $u_m(t)$ représentée sur la figure 1 de l'ANNEXE page 12 à rendre avec la copie est envoyée à l'entrée de l'étage n°2 du dispositif de réception. Représenter sur la figure 4 de l'ANNEXE page 13 à rendre avec la copie, l'allure du signal $u_{SM}(t)$ obtenu à la sortie de l'étage n°3 du dispositif de réception. Préciser les échelles sur les axes.

ANNEXE DE L'EXERCICE III : ÉMISSION ET RÉCEPTION EN GRANDES ONDES

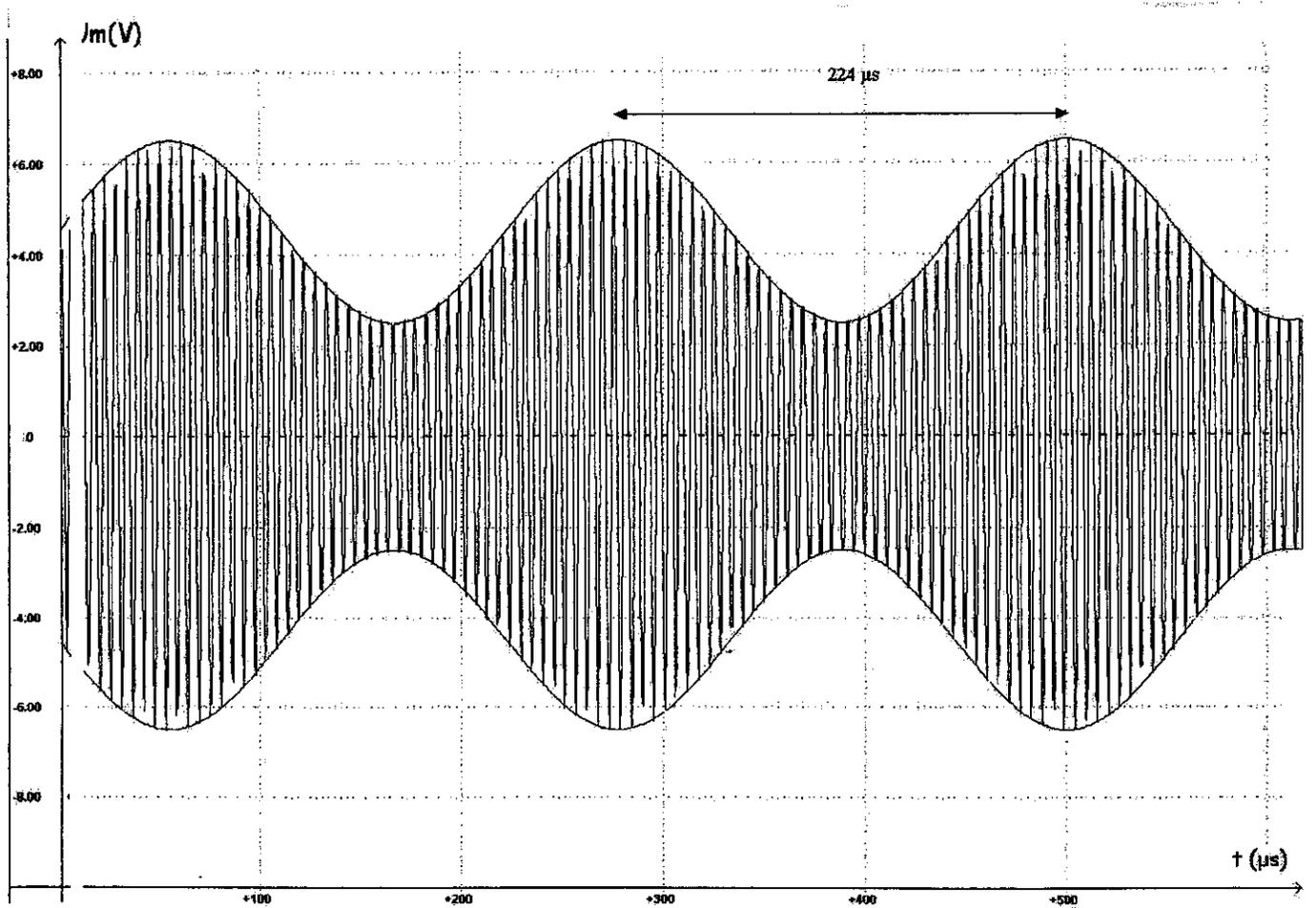


Figure 1

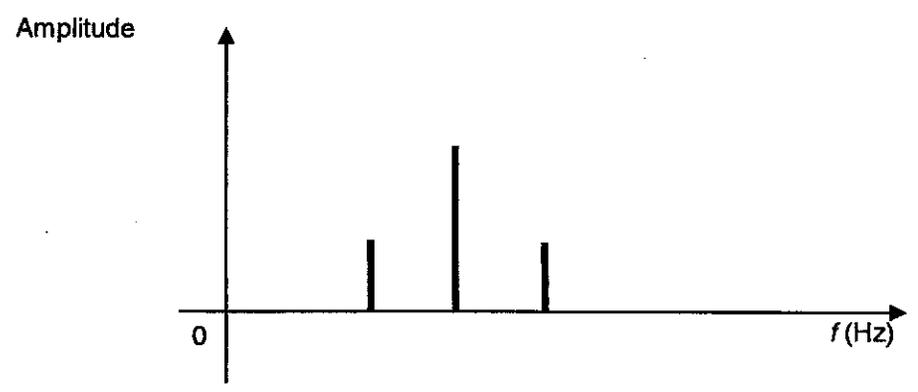


Figure 2

ANNEXE DE L'EXERCICE III : EMISSION ET RÉCEPTION EN GRANDES ONDES

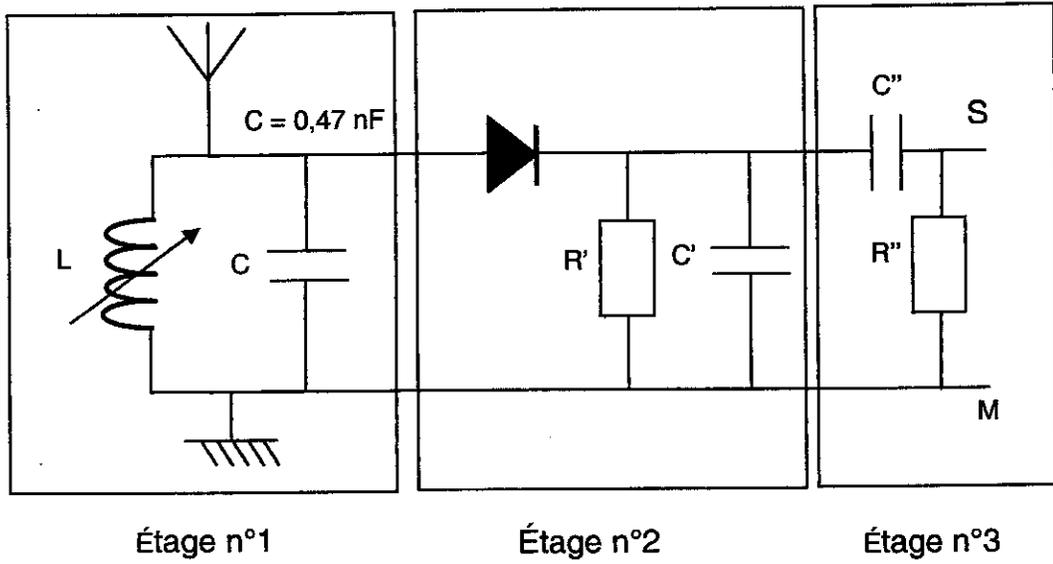


Figure 3

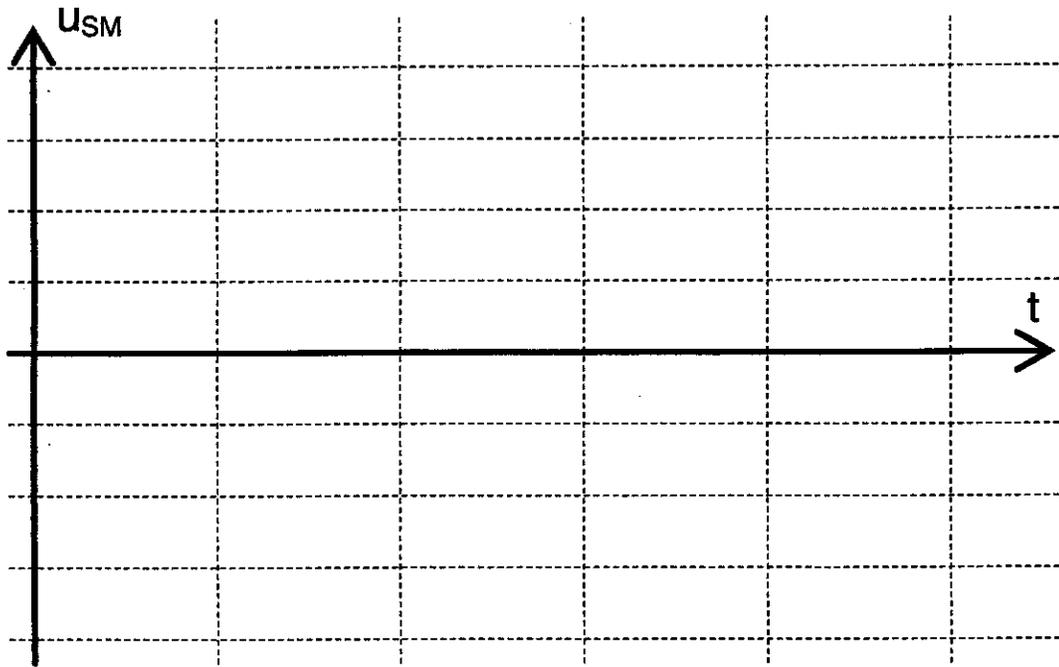


Figure 4