BURHAN

Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Corrigé détaillé en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/ondes-electromagnetiques-et-modulation-d-amplitude/exercices/examen

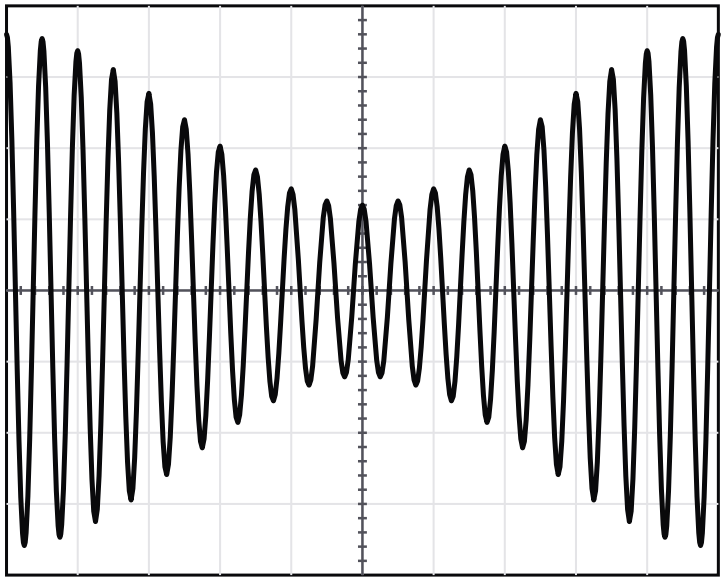
Chapitre	Palier	Exercices
Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude	Niveau examen	5

Exercice 1 6 pts

Une station en grandes ondes : maquette et spectre

Radio Saïss, station de radio fictive, émet en grandes ondes. Pour préparer la visite de l'émetteur, des élèves étudient d'abord une maquette de laboratoire qui reproduit son principe à fréquences réduites.

Document. Tension modulée u_s délivrée par la maquette : sensibilité verticale $1\ \mathrm{V/div}$, balayage $0{,}1\ \mathrm{ms/div}$.



Voie u_s : 1 V/div Balayage : 0,1 ms/div

Tension modulée délivrée par la maquette de l'émetteur

A.1. 0,75 pts

Partie A : la maquette de l'émetteur.

Déterminer la période T_s et la fréquence f_s de la modulante, puis la fréquence F_p de la porteuse.

INDICE

Début : l'enveloppe reprend la même forme après une période de la modulante. **Ensuite :** compte les oscillations rapides pendant cette durée.

A.2. 0,5 pts

Lire les amplitudes extrêmes $U_{\max}$ et $U_{\min}$.

INDICE

Outil : mesure en divisions, depuis l'axe central, les sommets extrêmes de l'enveloppe.

A.3. 0,75 pts

Montrer que le taux de modulation vaut $m \approx 0{,}50$.

INDICE

Outil : l'expression du taux à partir des amplitudes extrêmes.

A.4. 0,75 pts

En déduire l'amplitude A de la tension modulée, puis écrire l'expression de $u_s(t)$ en volts et en secondes.

INDICE

Début : relie $U_{\max}$ à A et m. **Ensuite :** reporte A, m, f_s et F_p dans la forme de référence.

B.1. 0,5 pts

Partie B : l'émission réelle de la station. La station émet une porteuse de fréquence $F_p = 198\,\text{kHz}$. À la sortie de son modulateur, pour un son de fréquence $f_s = 4{,}5\,\text{kHz}$, la tension modulée a la forme $A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$, avec $A = 6{,}0\,\text{V}$ et $m = 0{,}80$. On prend $c = 3{,}00 \times 10^8\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Calculer la longueur d'onde de l'onde émise.

INDICE

Outil : la longueur d'onde dans le vide d'une onde électromagnétique de fréquence donnée.

B.2. 1 pts

On rappelle la formule de transformation

$$\cos a\cos b = \frac{1}{2}\big[\cos(a+b) + \cos(a-b)\big]$$

Montrer que $u_s(t)$ est la somme de trois tensions sinusoïdales dont on donnera les fréquences et les amplitudes en fonction de A, m, F_p et f_s.

INDICE

Début : développe le crochet. **Ensuite :** applique la formule au produit des deux cosinus.

B.3. 0,75 pts

Donner les fréquences et les hauteurs des trois raies du spectre de u_s.

INDICE

Outil : le résultat de la question précédente, avec les valeurs de la partie B.

B.4. 0,5 pts

Calculer la largeur de la bande de fréquences occupée.

INDICE

Outil : l'écart entre les raies latérales extrêmes.

B.5. `0,5 pts`

Une autre station fictive voudrait émettre avec une porteuse de $205\,\mathrm{kHz}$ et des sons de même fréquence maximale. Montrer que les deux émissions se gêneraient, puis donner la plus petite fréquence porteuse acceptable au-dessus de $198\,\mathrm{kHz}$.

INDICE

Début : écris la bande de chaque station. **Point délicat :** deux bandes voisines ne doivent pas se chevaucher.

Exercice 2 — 6 pts

Travaux pratiques : trapèze de modulation et détecteur

Lors d'une séance de travaux pratiques, des élèves étudient la modulation d'amplitude par un multiplieur, puis la démodulation de la tension obtenue. Le multiplieur, de constante k, reçoit la porteuse d'amplitude P_m et la tension $U_0 + s(t)$.

Document. Figure obtenue à l'oscilloscope en mode XY, les deux voies ayant la même sensibilité ; elle est graduée en volts.

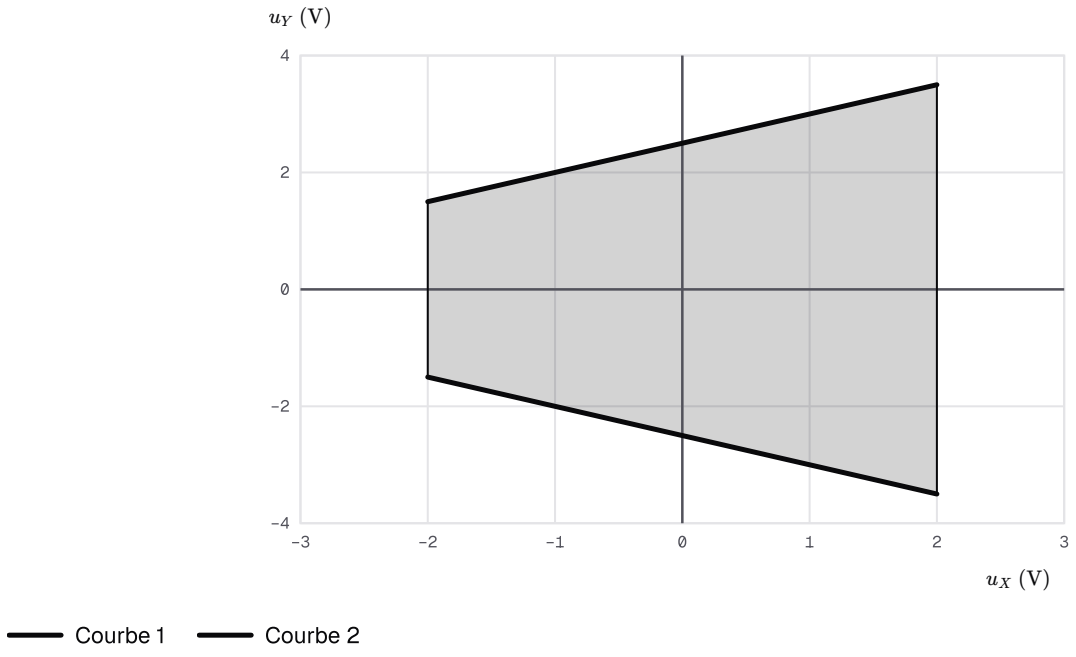


Figure observée en mode XY pendant la séance

A.1. — 0,75 pts

Partie A : méthode du trapèze.

Proposer un protocole pour obtenir cette figure à partir du montage de modulation : tensions appliquées aux voies, réglage de l'oscilloscope, précaution sur les masses.

INDICE

Outil : la méthode du trapèze ; précise, pour chaque voie, la tension reçue, puis le réglage de l'oscilloscope.

A.2. — 0,5 pts

Lire les longueurs L et ℓ des deux côtés verticaux.

INDICE

Outil : lis les ordonnées des extrémités de chaque côté vertical.

A.3. 0,75 pts

Les bases valent $L = 2U_{\max}$ et $\ell = 2U_{\min}$. Montrer que $m = \dfrac{L - \ell}{L + \ell}$, puis calculer m.

INDICE

Outil : l'expression du taux de modulation à partir de $U_{\max}$ et $U_{\min}$.

A.4. 0,75 pts

Lire sur l'axe horizontal l'amplitude S_m de la modulante, puis en déduire la tension de décalage U_0.

INDICE

Début : les côtés verticaux sont placés aux valeurs extrêmes de la modulante. **Ensuite :** relie m, S_m et U_0.

A.5. 0,5 pts

Un élève abaisse la tension de décalage à $1{,}4\ \mathrm{V}$ sans toucher à la modulante. Prévoir le nouveau taux de modulation et l'allure de la figure.

INDICE

Début : calcule le nouveau taux. **Ensuite :** cherche où les deux bords obliques se rejoignent.

B.1. 0,5 pts

Partie B : démodulation. On admet que la tension modulée a une porteuse de fréquence $F_p = 60\,\mathrm{kHz}$ et une modulante de fréquence $f_s = 1{,}5\,\mathrm{kHz}$. Le détecteur associe une diode à un résistor $R = 5{,}6\,\mathrm{k\Omega}$ et à un condensateur $C = 33\,\mathrm{nF}$ montés en parallèle ; il est suivi d'un filtre passe-haut.

Calculer les périodes T_p et T_s.

INDICE

Outil : une période est l'inverse de la fréquence correspondante.

B.2. 1 pts

Calculer la constante de temps du détecteur et vérifier qu'il convient.

INDICE

Outil : la condition d'une détection d'enveloppe de bonne qualité, en unités SI.

B.3. 0,75 pts

Quel est le rôle du filtre passe-haut placé après le détecteur ?

INDICE

Outil : décompose la tension détectée, puis demande-toi ce que le condensateur en série laisse passer.

B.4. `0,5 pts`

Un élève remplace le condensateur du détecteur par un condensateur de $470\,\mathrm{nF}$. Juger ce choix.

INDICE

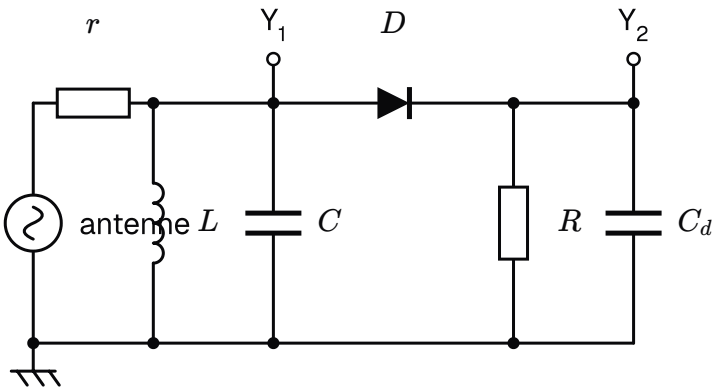
Début : calcule la nouvelle constante de temps. **Ensuite :** compare-la à T_s.

Exercice 3 6 pts

Capter une station en ondes moyennes

Une station de radio fictive, Radio Anfa Culture, émet en ondes moyennes avec une porteuse de fréquence $774\,\mathrm{kHz}$. Un auditeur habite un village situé à $93\,\mathrm{km}$ de l'émetteur. On prend $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Document. Étage d'accord et de détection du récepteur de l'auditeur. Le condensateur d'accord a une capacité C réglable de $50\,\mathrm{pF}$ à $300\,\mathrm{pF}$.



Étage d'accord et de détection du récepteur de l'auditeur ; le résistor r rend compte de l'antenne et de sa liaison

A.1. 0,75 pts

Partie A : l'onde captée.

Calculer la longueur d'onde de l'onde émise par la station, puis la durée de sa propagation jusqu'au village.

INDICE

Outil : le quotient de la célérité par la fréquence, exprimée en hertz. **Ensuite :** la durée de propagation à la célérité c, distance en mètres.

A.2. 0,5 pts

Citer deux propriétés de cette onde qui permettent de transmettre le programme sans câble entre l'émetteur et le village.

INDICE

Outil : la définition d'une onde électromagnétique.

A.3. 0,5 pts

Quelle est la fréquence de la tension créée par cette onde dans l'antenne du récepteur ?

INDICE

Outil : le comportement d'une antenne réceptrice.

B.1. 0,5 pts

Partie B : l'accord du récepteur. On admet que la porteuse de la station a pour fréquence $F_p = 774\,\text{kHz}$ et que la bobine du document a pour inductance $L = 0{,}30\,\text{mH}$.

Quel est le rôle du circuit formé par la bobine et le condensateur réglable ?

INDICE

Outil : le rôle sélectif du circuit bouchon.

B.2. 0,75 pts

Montrer que la capacité qui accorde le récepteur sur la station s'écrit

$$C = \frac{1}{4\pi^2 L\, F_p^2}$$

INDICE

Début : écris la condition d'accord avec la fréquence propre du circuit. **Ensuite :** élève au carré.

B.3. 0,75 pts

Calculer cette capacité et vérifier qu'elle appartient à la plage du condensateur.

INDICE

Outil : la relation précédente en unités SI, inductance en henrys et fréquence en hertz.

B.4. 0,5 pts

Le récepteur est accordé sur la station ; on admet que le détecteur vérifie la condition de détection. Décrire l'allure des tensions observées sur la voie 1 et sur la voie 2 de l'oscilloscope.

INDICE

Outil : repère, sur le schéma, l'étage aux bornes duquel chaque voie est branchée.

B.5. 0,75 pts

Calculer les fréquences extrêmes que ce récepteur peut capter.

INDICE

Outil : la fréquence propre du circuit bouchon, calculée pour chaque borne de la plage.

B.6. 1 pts

L'auditeur veut aussi écouter une station fictive de porteuse $1\,548\,\text{kHz}$. Montrer que c'est impossible avec cette bobine. On la remplace par une bobine de $0{,}20\,\text{mH}$: vérifier que les deux stations deviennent accessibles.

INDICE

Début : la fréquence est doublée ; regarde comment varie la capacité. **Ensuite :** refais les deux calculs avec la nouvelle bobine.

Exercice 4 6 pts

Multiplieur d'une radio associative et surmodulation

Le modulateur d'une radio associative est un multiplieur de constante k, qui délivre $u_s = k\,u_1\,u_2$. Il reçoit la porteuse $u_2(t) = P_m\cos(2\pi F_p\,t)$ et la tension $u_1(t) = U_0 + S_m\cos(2\pi f_s\,t)$, où $U_0 > 0$ est une tension continue de décalage.

A.1. 1 pts

Partie A : expression de la tension modulée.

Montrer que $u_s(t) = A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$, en exprimant A et m.

INDICE

Début : écris la relation du multiplieur avec les deux entrées. **Ensuite :** transforme le premier facteur pour retrouver la forme demandée.

A.2. 0,75 pts

Les réglages sont $k = 0{,}40\,\mathrm{V}^{-1}$, $P_m = 5{,}0\,\mathrm{V}$, $U_0 = 1{,}5\,\mathrm{V}$ et $S_m = 1{,}2\,\mathrm{V}$. Calculer A et m.

INDICE

Outil : les expressions obtenues à la question précédente.

A.3. 0,5 pts

Justifier qu'il s'agit d'une modulation d'amplitude.

INDICE

Outil : la définition de la modulation d'amplitude, appliquée au facteur qui multiplie $\cos(2\pi F_p\,t)$.

A.4. 0,5 pts

Calculer les amplitudes extrêmes $U_{\max}$ et $U_{\min}$ de la tension modulée.

INDICE

Outil : les amplitudes extrêmes en fonction de A et de m.

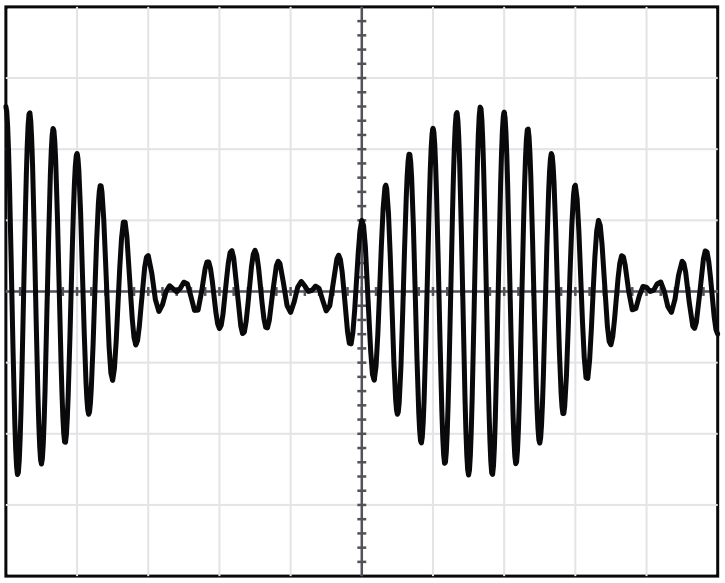
B.1. 0,5 pts

Partie B : un réglage à corriger. Sur un second émetteur de la radio, on règle $k = 0{,}20\ \mathrm{V}^{-1}$, $P_m = 10\ \mathrm{V}$, $U_0 = 1{,}0\ \mathrm{V}$ et $S_m = 1{,}6\ \mathrm{V}$. On admet que la tension modulée a la forme $A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$ avec

$$A = k\,P_m\,U_0$$
$$m = \frac{S_m}{U_0}$$

Document. Tension modulée observée : sensibilité $2\ \mathrm{V/div}$, balayage $0{,}2\ \mathrm{ms/div}$.

Décrire l'enveloppe observée. Que révèle-t-elle ?



Voie u_s : 2 V/div Balayage : 0,2 ms/div

Tension modulée du second émetteur

INDICE

Outil : compare la forme de l'enveloppe à celle d'une sinusoïde.

B.2. 0,5 pts

Calculer le taux de modulation de ce second émetteur.

INDICE

Outil : l'expression de m rappelée dans la partie B.

B.3. 0,75 pts

Montrer que le facteur $A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]$ prend des valeurs négatives, et calculer sa valeur la plus petite.

INDICE

Début : encadre le cosinus. **Ensuite :** calcule A avec les réglages de la partie B.

B.4. `0,75 pts`

Sans changer la modulante, proposer une valeur de U_0 qui donne un taux de modulation de $0{,}50$.

INDICE

Outil : la condition d'absence de surmodulation, puis l'expression de m résolue pour U_0.

B.5. `0,75 pts`

Calculer, pour ce nouveau réglage, l'amplitude A et les amplitudes extrêmes de la tension modulée.

INDICE

Outil : les expressions de A, de $U_{\max}$ et de $U_{\min}$, avec $U_0 = 3{,}2\ \text{V}$.

Exercice 5 6 pts

Démodulation complète : détecteur puis filtre

Au laboratoire, on démodule la tension modulée fournie par un émetteur de travaux pratiques : porteuse de fréquence $F_p = 100\,\text{kHz}$, modulante de fréquence $f_s = 5{,}0\,\text{kHz}$.

Le détecteur associe une diode à un résistor $R = 12\,\text{k}\Omega$ et à un condensateur C montés en parallèle. Un filtre passe-haut, formé d'un condensateur C' en série et d'un résistor R', le suit.

A.1. 0,5 pts

Partie A : le détecteur d'enveloppe.

Quel est le rôle de la diode dans le détecteur ?

INDICE

Outil : une diode idéalisée ne conduit que dans un sens.

A.2. 0,5 pts

Calculer les périodes T_p de la porteuse et T_s de la modulante.

INDICE

Outil : une période est l'inverse de la fréquence, en hertz.

A.3. 0,75 pts

On dispose de condensateurs de $0{,}39\,\text{nF}$, $10\,\text{nF}$ et $82\,\text{nF}$. Lequel faut-il choisir ?

INDICE

Début : calcule les trois constantes de temps. **Ensuite :** applique la condition d'une détection de bonne qualité.

A.4. 0,75 pts

Décrire la tension détectée si l'on utilisait le condensateur de $82\,\text{nF}$.

INDICE

Outil : compare la durée de décharge du condensateur à la durée d'une baisse de l'enveloppe.

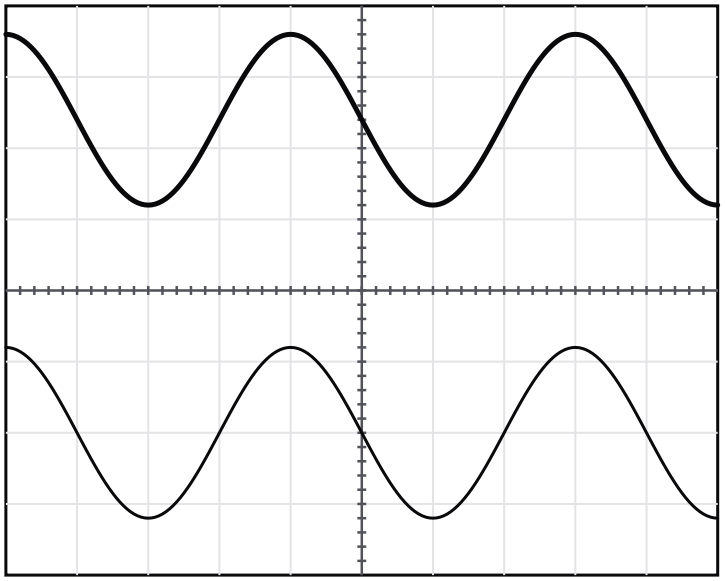
B.1. 0,5 pts

Partie B : le filtre passe-haut. On observe simultanément la tension u_D à la sortie du détecteur et la tension u_F aux bornes du résistor R'.

Le détecteur vérifie la condition de détection ; sa tension est représentée par son modèle idéal, l'enveloppe. Ondulations et léger retard sur les descentes ne sont pas tracés.

Document. Voie 1 et voie 2 : sensibilité $1\,\mathrm{V/div}$; zéro de la voie 1 au centre de l'écran, zéro de la voie 2 deux divisions au-dessous ; balayage $0{,}05\,\mathrm{ms/div}$.

Identifier la voie qui affiche u_D et celle qui affiche u_F.



Voie Y_1 : 1 V/div — Voie Y_2 : 1 V/div, zéro 2 divisions au-dessous du centre — Balayage : 0,05 ms/div

Tensions à la sortie du détecteur et à la sortie du filtre

INDICE

Outil : l'une des deux tensions garde une composante continue.

B.2. 1 pts

Lire, sur la voie 1, la composante continue U_c et l'amplitude de la composante variable de u_D ; lire, sur la voie 2, l'amplitude et la période de u_F.

INDICE

Début : la composante continue est la valeur moyenne entre le plus haut et le plus bas de la voie 1.

Ensuite : compte les divisions d'une période sur la voie 2.

B.3. 1 pts

La tension détectée s'écrit $u_D(t) = A + A\,m\cos(2\pi f_s\,t)$. Montrer que le taux de modulation de la tension reçue vaut $m \approx 0{,}50$.

INDICE

Outil : identifie chaque terme de u_D avec une grandeur lue à la question précédente.

B.4. 0,5 pts

Expliquer pourquoi on place ce filtre avant l'amplificateur et le haut-parleur.

INDICE

Outil : demande-toi ce que le haut-parleur ferait de chacune des deux composantes de u_D.

B.5. 0,5 pts

Un élève propose de retirer le condensateur C' et de relier directement le résistor R' à la sortie du détecteur. Discuter cette proposition.

INDICE

Outil : reprends le rôle de chacun des deux éléments du filtre passe-haut.