BURHAN

Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude : exercices, application

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

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

Chapitre	Palier	Exercices
Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude	Application	8

Exercice 1

Longueur d'onde et durée de trajet d'une onde radio

Une station de radio fictive, Radio Oasis, émet en grandes ondes une onde électromagnétique de fréquence $F = 216\,\mathrm{kHz}$. On prend $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ dans l'air.

1.

Calculer la longueur d'onde λ de cette onde.

INDICE

Outil : la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence. **Point délicat :** convertis la fréquence en hertz.

CORRIGÉ

Conversion. $F = 216\,\mathrm{kHz} = 2{,}16 \times 10^{5}\ \mathrm{Hz}$.

Calcul.

$$\lambda = \frac{c}{F}$$
$$\lambda = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{2{,}16 \times 10^{5}}$$
$$\lambda \approx 1{,}39 \times 10^{3}\ \mathrm{m}$$

Conclusion. La longueur d'onde vaut environ $1{,}39 \times 10^{3}\ \mathrm{m}$, soit près d'un kilomètre et demi.

2.

La lumière visible a des longueurs d'onde comprises entre $400\,\mathrm{nm}$ et $800\,\mathrm{nm}$. Cette onde est-elle visible ? Justifier à l'aide de λ.

INDICE

Outil : compare l'ordre de grandeur de λ aux bornes du domaine visible.

CORRIGÉ

Comparaison. $\lambda \approx 1{,}39 \times 10^{3}\ \mathrm{m}$, alors que le visible s'arrête à $8{,}00 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$: l'onde est environ 10^{9} fois plus longue.

Conclusion. Sa longueur d'onde dépasse de très loin celles du visible : cette onde n'est pas visible.

3.

Un auditeur se trouve à $d = 780\,\text{km}$ de l'émetteur. Calculer la durée de propagation de l'onde jusqu'à lui.

INDICE

Outil : la durée de propagation d'une information sur une distance donnée, à la célérité c.

CORRIGÉ

Conversion. $d = 780\,\text{km} = 7{,}8 \times 10^{5}\,\text{m}$, avec deux chiffres significatifs.

Calcul.

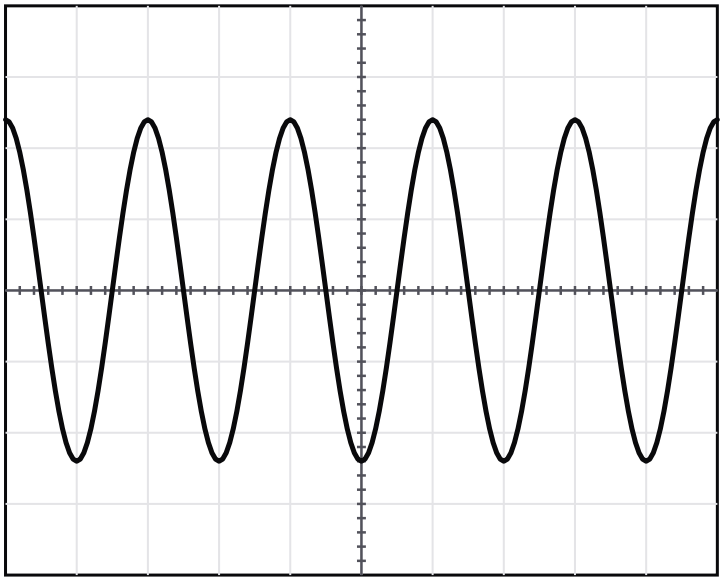
$$\Delta t = \frac{d}{c}$$
$$\Delta t = \frac{7{,}8 \times 10^{5}}{3{,}00 \times 10^{8}}$$
$$\Delta t = 2{,}6 \times 10^{-3}\,\text{s}$$

Conclusion. L'onde met $2{,}6\,\text{ms}$ pour parvenir à l'auditeur : la réception est pratiquement immédiate.

Exercice 2

Lecture d'une tension sinusoïdale sur l'écran

Un microphone capte un sifflement. Après amplification, sa tension u est envoyée sur la voie 1 d'un oscilloscope : sensibilité verticale $1\,\mathrm{V/div}$, balayage $0{,}2\,\mathrm{ms/div}$. Le bord gauche de l'écran correspond à $t = 0$.



Voie u : $1\,\mathrm{V/div}$ Balayage : $0{,}2\,\mathrm{ms/div}$

Tension du microphone après amplification

1.

Déterminer l'amplitude U_m de la tension u.

INDICE

Outil : compte les divisions entre l'axe central et un sommet de la courbe.

CORRIGÉ

Lecture. Un sommet se trouve à $2{,}4$ divisions de l'axe central, avec $1\,\mathrm{V/div}$:

$$U_m \approx 2{,}4 \times 1 \approx 2{,}4\,\mathrm{V}$$

Conclusion. L'amplitude de la tension vaut environ $2{,}4\,\mathrm{V}$.

2.

Déterminer la période T puis la fréquence f du sifflement.

INDICE

Début : compte les périodes entières sur les dix divisions. **Ensuite :** divise leur durée par leur nombre.

CORRIGÉ

Période. L'écran montre 5 périodes sur 10 divisions, soit $10 \times 0{,}2 = 2{,}0\,\text{ms}$:

$$T \approx \frac{2{,}0\,\text{ms}}{5} \approx 0{,}40\,\text{ms}$$

Fréquence. Avec $T = 4{,}0 \times 10^{-4}\,\text{s}$:

$$f = \frac{1}{T} \approx 2{,}5 \times 10^{3}\,\text{Hz}$$

Conclusion. Le sifflement a une période d'environ $0{,}40\,\text{ms}$ et une fréquence d'environ $2{,}5\,\text{kHz}$.

3.

Écrire l'expression $u(t) = U_m \cos(2\pi f\, t + \varphi)$ de cette tension, en précisant φ.

INDICE

Outil : la valeur de u au bord gauche de l'écran, à $t = 0$, fixe la phase à l'origine.

CORRIGÉ

Phase. À $t = 0$, la tension est maximale : $\cos\varphi = 1$, donc $\varphi = 0$.

Expression. Avec $U_m \approx 2{,}4\,\text{V}$ et $f \approx 2{,}5 \times 10^{3}\,\text{Hz}$, $u(t) = 2{,}4\cos(5{,}0 \times 10^{3}\pi\, t)$, en volts et en secondes.

Conclusion. La tension s'écrit $u(t) = 2{,}4\cos(2\pi \times 2{,}5 \times 10^{3}\, t)$: sa phase à l'origine est nulle.

Exercice 3

Constantes d'une tension modulée par un multiplieur

Le modulateur d'un émetteur de radioamateur contient un multiplieur de constante $k = 0{,}10\ \mathrm{V}^{-1}$. Il reçoit la porteuse, d'amplitude $P_m = 8{,}0\ \mathrm{V}$, et la tension $u_1(t) = U_0 + s(t)$, avec $U_0 = 6{,}5\ \mathrm{V}$ et une modulante sinusoïdale d'amplitude $S_m = 2{,}6\ \mathrm{V}$.

1.

Calculer l'amplitude A de la tension modulée $u_s(t) = A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$.

INDICE

Outil : l'expression de A établie pour la tension délivrée par un multiplieur.

CORRIGÉ

Calcul.

$$A = k\,P_m\,U_0$$
$$A = 0{,}10 \times 8{,}0 \times 6{,}5$$
$$A = 5{,}2\ \mathrm{V}$$

Conclusion. L'amplitude A vaut $5{,}2\ \mathrm{V}$.

2.

Calculer le taux de modulation m.

INDICE

Outil : le taux de modulation d'un multiplieur compare l'amplitude de la modulante à la tension de décalage.

CORRIGÉ

Calcul.

$$m = \frac{S_m}{U_0} = \frac{2{,}6}{6{,}5} = 0{,}40$$

Conclusion. Le taux de modulation vaut $0{,}40$: c'est un nombre sans unité.

3.

Calculer les amplitudes extrêmes $U_{\max}$ et $U_{\min}$. Y a-t-il surmodulation ?

INDICE

Outil : les amplitudes extrêmes s'expriment avec A et m. **Ensuite :** compare m à 1.

CORRIGÉ

Amplitude la plus grande. $U_{\max} = A(1+m) = 5{,}2 \times 1{,}40 \approx 7{,}3\ \mathrm{V}$.

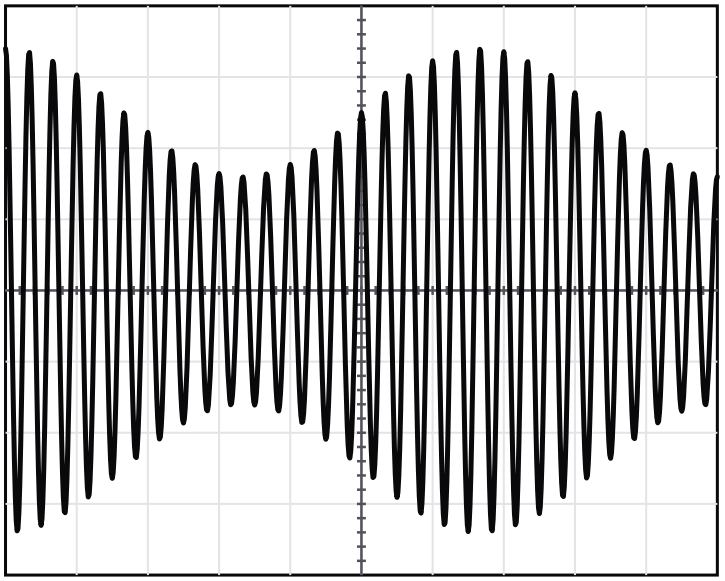
Amplitude la plus petite. $U_{\min} = A(1-m) = 5{,}2 \times 0{,}60 \approx 3{,}1\ \mathrm{V}$.

Conclusion. L'amplitude varie entre environ $3{,}1\ \mathrm{V}$ et $7{,}3\ \mathrm{V}$; comme $m < 1$, il n'y a pas de surmodulation.

Exercice 4

Taux de modulation lu sur un oscillogramme

On étudie au laboratoire la maquette d'une balise de détresse qui émet un son modulé en amplitude. La tension modulée u_s est observée sur la voie 1 : 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 de la maquette de balise

1.

Lire sur l'oscillogramme les amplitudes extrêmes $U_{\max}$ et $U_{\min}$ de la tension modulée.

INDICE

Outil : l'enveloppe ; mesure en divisions, de l'axe central au sommet le plus haut, puis au sommet le plus bas.

CORRIGÉ

Plus grande amplitude. Le sommet le plus haut est à $3{,}4$ divisions : $U_{\max} \approx 3{,}4 \times 1 \approx 3{,}4\,\mathrm{V}$.

Plus petite amplitude. Le sommet le plus bas de l'enveloppe est à $1{,}6$ division : $U_{\min} \approx 1{,}6\,\mathrm{V}$.

Conclusion. On lit $U_{\max} \approx 3{,}4\,\mathrm{V}$ et $U_{\min} \approx 1{,}6\,\mathrm{V}$.

2.

En déduire le taux de modulation m.

INDICE

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

CORRIGÉ

Calcul.

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}$$
$$m \approx \frac{3{,}4 - 1{,}6}{3{,}4 + 1{,}6}$$
$$m \approx 0{,}36$$

Conclusion. Le taux de modulation vaut environ $0{,}36$, nombre sans unité.

3.

La modulation est-elle de bonne qualité du point de vue du taux ? Justifier par la valeur de m et par l'allure de l'enveloppe.

INDICE

Outil : la condition d'absence de surmodulation.

CORRIGÉ

Valeur. $m \approx 0{,}36$ est inférieur à 1.

Allure. Les deux bords de l'enveloppe restent séparés : le bord supérieur ne descend jamais jusqu'à l'axe.

Conclusion. Il n'y a pas de surmodulation : l'enveloppe reproduit la forme de la modulante.

Exercice 5

Taux de modulation par le trapèze

Sur un banc de modulation, on règle l'oscilloscope en mode XY. Les deux voies ont la même sensibilité. Le document montre la figure obtenue, graduée en volts.

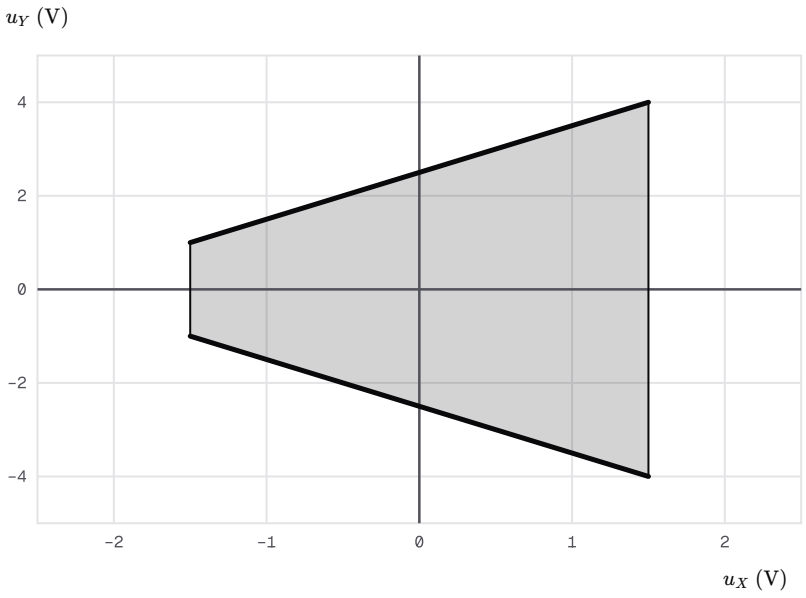


Figure observée en mode XY sur le banc de modulation

1.

Quelles tensions faut-il appliquer sur les voies X et Y pour obtenir cette figure ?

INDICE

Outil : la méthode du trapèze ; demande-toi quelle tension est le message et laquelle est la tension à analyser.

CORRIGÉ

Voie X. Elle reçoit la tension modulante $s(t)$.

Voie Y. Elle reçoit la tension modulée $u_s(t)$.

Conclusion. La modulante est appliquée sur la voie X et la tension modulée sur la voie Y, les masses étant communes.

2.

Lire les longueurs L et ℓ des deux côtés verticaux du trapèze.

INDICE

Outil : lis l'ordonnée du haut et celle du bas de chaque côté vertical.

CORRIGÉ

Grand côté. Il va de $-4{,}0\ \text{V}$ à $4{,}0\ \text{V}$: $L \approx 8{,}0\ \text{V}$.

Petit côté. Il va de $-1{,}0\ \text{V}$ à $1{,}0\ \text{V}$: $\ell \approx 2{,}0\ \text{V}$.

Conclusion. Les bases du trapèze mesurent environ $8{,}0\ \text{V}$ et $2{,}0\ \text{V}$.

3.

Calculer le taux de modulation et conclure sur la qualité de la modulation.

INDICE

Outil : l'expression du taux de modulation par la méthode du trapèze.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\begin{aligned} m &= \frac{L - \ell}{L + \ell} \\ m &\approx \frac{8{,}0 - 2{,}0}{8{,}0 + 2{,}0} \\ m &\approx 0{,}60 \end{aligned}$$

Conclusion. Le taux de modulation, sans unité, vaut environ $0{,}60$; il est inférieur à 1, la petite base ne se réduit pas à un point : il n'y a pas de surmodulation.

Exercice 6

Raies et largeur du spectre d'une station

À la sortie du modulateur d'une station fictive en ondes moyennes, la tension modulée s'écrit, en volts et en secondes :

$$\begin{aligned} u_s(t) &= 3{,}0 \\ &\quad \times \left[1 + 0{,}40 \right. \\ &\quad \left. \times \cos(9{,}0 \times 10^{3} \pi\, t)\right] \\ &\quad \times \cos(2{,}16 \times 10^{6} \pi\, t) \end{aligned}$$

1.

Identifier l'amplitude A, le taux de modulation m, la fréquence f_s de la modulante et la fréquence F_p de la porteuse.

INDICE

Outil : compare terme à terme avec $u_s(t) = A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\, t)]\cos(2\pi F_p\, t)$.

CORRIGÉ

Constantes. $A = 3{,}0\ \mathrm{V}$ et $m = 0{,}40$.

Modulante. $2\pi f_s = 9{,}0 \times 10^{3}\pi$, donc $f_s = 4{,}5 \times 10^{3}\ \mathrm{Hz}$.

Porteuse. $2\pi F_p = 2{,}16 \times 10^{6}\pi$, donc $F_p = 1{,}08 \times 10^{6}\ \mathrm{Hz}$.

Conclusion. $A = 3{,}0\ \mathrm{V}$, $m = 0{,}40$, $f_s = 4{,}5\ \mathrm{kHz}$ et $F_p = 1{,}08\ \mathrm{MHz}$.

2.

Donner la fréquence et l'amplitude de chacune des raies du spectre de u_s.

INDICE

Outil : la décomposition de la tension modulée en trois tensions sinusoïdales.

CORRIGÉ

Raie centrale. À $F_p = 1\,080\ \mathrm{kHz}$, d'amplitude $A = 3{,}0\ \mathrm{V}$.

Raies latérales. À $F_p - f_s = 1\,075{,}5\ \mathrm{kHz}$ et $F_p + f_s = 1\,084{,}5\ \mathrm{kHz}$, d'amplitude :

$$\begin{aligned} \frac{m\,A}{2} &= \frac{0{,}40 \times 3{,}0}{2} \\ \frac{m\,A}{2} &= 0{,}60\ \mathrm{V} \end{aligned}$$

Conclusion. Le spectre compte trois raies : $1\,075{,}5\ \mathrm{kHz}$ et $1\,084{,}5\ \mathrm{kHz}$ de $0{,}60\ \mathrm{V}$, et $1\,080\ \mathrm{kHz}$ de $3{,}0\ \mathrm{V}$.

3.

Calculer la largeur de la bande de fréquences occupée par cette station.

INDICE

Outil : l'écart entre les deux raies latérales.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\Delta f = 2 f_s$$
$$\Delta f = 2 \times 4{,}5 = 9{,}0\,\text{kHz}$$

Conclusion. La station occupe une bande de fréquences de $9{,}0\,\text{kHz}$, centrée sur $1\,080\,\text{kHz}$.

Exercice 7

Choix du dipôle RC d'un détecteur

Le détecteur d'enveloppe d'un récepteur grandes ondes reçoit une tension modulée de porteuse $F_p = 160\,\text{kHz}$; la modulante a une fréquence $f_s = 3{,}0\,\text{kHz}$. On dispose de trois couples pour le dipôle RC parallèle :

Couple	R	C
a	$1{,}0\,\text{k}\Omega$	$4{,}7\,\text{nF}$
b	$22\,\text{k}\Omega$	$4{,}7\,\text{nF}$
c	$100\,\text{k}\Omega$	$12\,\text{nF}$

1.

Calculer la période T_p de la porteuse et la période T_s de la modulante.

INDICE

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

CORRIGÉ

Porteuse. $T_p = \dfrac{1}{1{,}60 \times 10^{5}} = 6{,}25 \times 10^{-6}\,\text{s}$.

Modulante. $T_s = \dfrac{1}{3{,}0 \times 10^{3}} \approx 3{,}3 \times 10^{-4}\,\text{s}$.

Conclusion. $T_p \approx 6{,}25\,\mu\text{s}$ et $T_s \approx 0{,}33\,\text{ms}$.

2.

Calculer la constante de temps $\tau = RC$ de chaque couple.

INDICE

Point délicat : convertis les kiloohms en ohms et les nanofarads en farads.

CORRIGÉ

Couple a. $\tau_a = 1{,}0 \times 10^{3} \times 4{,}7 \times 10^{-9} = 4{,}7 \times 10^{-6}\,\text{s}$.

Couple b. $\tau_b = 2{,}2 \times 10^{4} \times 4{,}7 \times 10^{-9} \approx 1{,}0 \times 10^{-4}\,\text{s}$.

Couple c. $\tau_c = 1{,}00 \times 10^{5} \times 1{,}2 \times 10^{-8} = 1{,}2 \times 10^{-3}\,\text{s}$.

Conclusion. Les constantes de temps valent $4{,}7\,\mu\text{s}$, environ $0{,}10\,\text{ms}$ et $1{,}2\,\text{ms}$.

3.

Quel couple faut-il choisir ? Justifier.

INDICE

Outil : la condition d'une détection d'enveloppe de bonne qualité, appliquée à chaque couple.

CORRIGÉ

Couple a. $\tau_a < T_p$: la tension détectée suivrait les alternances de la porteuse.

Couple c. $\tau_c > T_s$: la tension détectée ne suivrait plus l'enveloppe quand elle diminue.

Couple b. $\tau_b \approx 16\,T_p$ et $\tau_b < T_s$: la condition $T_p \ll RC < T_s$ est vérifiée.

Conclusion. Il faut choisir le couple b, $R = 22\,\mathrm{k\Omega}$ et $C = 4{,}7\,\mathrm{nF}$.

Exercice 8

Capacité d'accord d'un circuit bouchon

Le poste de radio d'une coopérative agricole capte une station fictive dont la porteuse a pour fréquence $F_p = 650\,\text{kHz}$. Son circuit d'accord associe une bobine d'inductance $L = 0{,}40\,\text{mH}$ et un condensateur de capacité C réglable de $100\,\text{pF}$ à $400\,\text{pF}$.

1.

Écrire la condition pour que le circuit bouchon sélectionne cette station.

INDICE

Outil : la fréquence propre du circuit bouchon et son rôle sélectif.

CORRIGÉ

Fréquence propre. Le circuit bouchon a pour fréquence propre $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Conclusion. Le circuit sélectionne la station quand sa fréquence propre est égale à la fréquence porteuse : $f_0 = F_p$.

2.

En déduire la valeur de C à régler.

INDICE

Début : élève au carré la condition d'accord. **Ensuite :** isole C, puis passe en unités SI.

CORRIGÉ

Expression. $F_p^2 = \dfrac{1}{4\pi^2 LC}$, donc $C = \dfrac{1}{4\pi^2 L\,F_p^2}$.

Application numérique. $L = 4{,}0 \times 10^{-4}\,\text{H}$ et $F_p = 6{,}50 \times 10^{5}\,\text{Hz}$:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 L\,F_p^2}$$
$$C \approx 1{,}5 \times 10^{-10}\,\text{F}$$

Conclusion. Il faut régler la capacité à environ $1{,}5 \times 10^{2}\,\text{pF}$.

3.

Le condensateur réglable permet-il de capter cette station ?

INDICE

Outil : compare la valeur trouvée aux deux bornes de la plage.

CORRIGÉ

Comparaison. $100\,\text{pF} < 1{,}5 \times 10^{2}\,\text{pF} < 400\,\text{pF}$.

Conclusion. La valeur nécessaire appartient à la plage du condensateur : le poste peut capter la station.