Spécialité : Voyage d'une note

Bac S 2008 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Compléter : « L'onde porteuse utilisée en radio est une onde … » (sonore, lumineuse, mécanique, électromagnétique).

L'onde porteuse utilisée en radio est une onde **électromagnétique**.

COMPRENDRE
La porteuse se propage de l'antenne émettrice au récepteur à la célérité c, sans support matériel : ce n'est donc ni une onde sonore ni une onde mécanique.

1.1.2 Compléter : « En modulation d'amplitude, l'amplitude du signal modulé est une fonction … de la tension modulante » (linéaire, exponentielle, constante, affine, sinusoïdale).

L'amplitude du signal modulé est une fonction **affine** de la tension modulante.

COMPRENDRE
L'amplitude s'écrit $A\left(1+\dfrac{u(t)}{U_0}\right)$: un terme constant plus un terme proportionnel à $u(t)$, donc affine et non linéaire. La modulation n'est plus au programme actuel de spécialité.

1.2 Calculer la longueur d'onde λ de la station émettrice.

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $F = 162\ \text{kHz}$

$\lambda = \dfrac{c}{F}$ avec $F = 162 \times 10^3$ Hz.

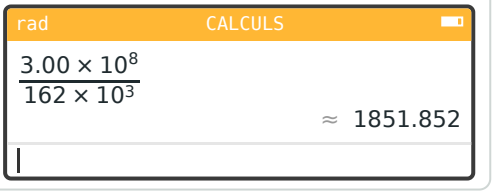
$$\lambda = \frac{3{,}00 \times 10^8}{162 \times 10^3} = 1{,}85 \times 10^3\ \text{m}$$

$\lambda = 1{,}85 \times 10^3\ \text{m} = 1{,}85\ \text{km}$

PIÈGE
Utiliser $v_{son} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: l'onde émise par l'antenne est électromagnétique, sa célérité est c . Penser aussi à convertir les kilohertz en hertz.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c et F. Une longueur d'onde de l'ordre du kilomètre justifie le nom « ondes longues ».

À LA CALCULATRICE



2.1 Déterminer la fréquence fondamentale f_1 de la note captée (figure 3) et montrer que cette note est le la_3.

Données utiles figure 3 ; tableau des notes : la_3 à 440 Hz, sol_3 à 392 Hz, si_3 à 494 Hz

La fréquence fondamentale est l'inverse de la période T_1 du signal. Pour gagner en précision, on mesure trois périodes entre deux maxima principaux : le premier à $t = 0{,}3006$ s, le quatrième à $t = 0{,}3074$ s.

$3\,T_1 = 0{,}3074 - 0{,}3006 = 6{,}8 \times 10^{-3}$ s

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{3}{6{,}8 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^2\ \text{Hz}$$

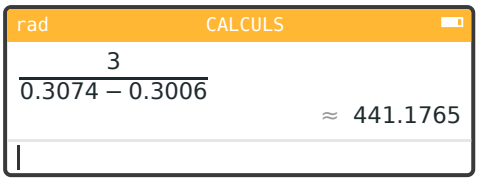
Dans le tableau, la note dont la fréquence est la plus proche est le la_3 (440 Hz).

$f_1 \approx 441$ Hz, soit $4{,}4 \times 10^2$ Hz : la note captée est bien le la_3 (440 Hz).

PIÈGE
Prendre pour période l'écart entre deux pics voisins à l'intérieur d'un même motif. La période est la durée du motif complet qui se répète, environ 2,3 ms.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes entre deux points identiques du motif (ici deux grands maxima), puis diviser : l'incertitude de lecture est répartie sur le nombre de périodes.

À LA CALCULATRICE



2.2 Calculer les fréquences des harmoniques de rang 2 et de rang 13 de cette note.

Données utiles $f_1 = 440$ Hz (la_3, Q2.1)

La fréquence de l'harmonique de rang n est un multiple entier de la fréquence fondamentale : $f_n = n\,f_1$.

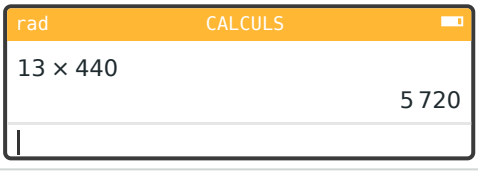
$f_2 = 2 \times 440 = 880$ Hz

$f_{13} = 13 \times 440 = 5{,}72 \times 10^3$ Hz

$f_2 = 880$ Hz et $f_{13} = 5{,}72 \times 10^3$ Hz

COMPRENDRE
Sur la figure 4, ces valeurs correspondent au deuxième pic et au treizième, qui est le dernier. Harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

À LA CALCULATRICE



3.1 Calculer les trois fréquences présentes dans le signal modulé $s_1(t)$ lorsque France Inter transmet le son pur d'un diapason (la_3).

Données utiles $F = 162$ kHz ; $f = 440$ Hz $= 0{,}440$ kHz

L'expression de $s_1(t)$ est une somme de trois termes sinusoïdaux, de fréquences F, $F - f$ et $F + f$.

$F = 162$ kHz

$F - f = 162 - 0{,}440 = 161{,}56$ kHz

$F + f = 162 + 0{,}440 = 162{,}44$ kHz

$F - f = 161{,}56$ kHz ; $F = 162$ kHz ; $F + f = 162{,}44$ kHz

PIÈGE
Additionner 162 et 440 sans convertir : F est en kilohertz, f en hertz.

COMPRENDRE
La fréquence 440 Hz n'apparaît pas dans le signal émis : l'information sonore est portée par l'écart entre la porteuse et les deux fréquences latérales.

3.2 Quelles fréquences du spectre de la note jouée par le violon ne peuvent pas être transmises par France Inter ?

Données utiles fréquence maximale transmise : 4,5 kHz ; $f_n = n \times 440$ Hz (Q2.2)

Un harmonique de fréquence f_n occupe dans le canal les fréquences $F - f_n$ et $F + f_n$: il n'est transmis que si $f_n \leqslant 4{,}5$ kHz.

Les harmoniques non transmis vérifient $n \times 440 > 4{,}5 \times 10^3$, soit $n > \dfrac{4{,}5 \times 10^3}{440} = 10{,}2$, donc $n \geqslant 11$.

Le spectre s'arrête au rang 13 : $f_{11} = 4{,}84$ kHz, $f_{12} = 5{,}28$ kHz, $f_{13} = 5{,}72$ kHz.

Les harmoniques de rang 11, 12 et 13 (4,84 kHz ; 5,28 kHz ; 5,72 kHz) ne sont pas transmis.

MÉTHODE
Vérifier sur la figure 4 : trois pics se trouvent à droite de 4 500 Hz, le pic de rang 10 (4,40 kHz) est juste en dessous de la limite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{4.5 \times 10^3}{440} \approx 10.22727$

$11 \times 440 = 4\,840$

$12 \times 440 = 5\,280$

4.1.1 Nommer les composants (1), (2) et (3) du circuit d'accord (figure 5).

(1) : antenne réceptrice ; (2) : bobine, d'inductance L réglable et de résistance R ; (3) : condensateur, de capacité C.

COMPRENDRE
La bobine et le circuit LC ne sont plus au programme actuel de spécialité ; le condensateur y figure toujours, avec le circuit RC.

4.1.2 Calculer la valeur de l'inductance L qui permet de capter France Inter.

Données utiles $C = 0{,}47\ \text{nF} = 0{,}47 \times 10^{-9}\ \text{F}$; $F = 162 \times 10^3\ \text{Hz}$

Le circuit est accordé lorsque sa fréquence propre est égale à la fréquence de la porteuse : $F = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

On élève au carré : $F^2 = \dfrac{1}{4\pi^2 LC}$, d'où $L = \dfrac{1}{4\pi^2 F^2 C}$.

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times (162 \times 10^3)^2 \times 0{,}47 \times 10^{-9}} = 2{,}1 \times 10^{-3}\ \text{H}$$

$L = 2{,}1 \times 10^{-3}\ \text{H} = 2{,}1\ \text{mH}$

PIÈGE
Oublier le carré sur F ou sur 2π, ou laisser C en nanofarads et F en kilohertz.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, comme la capacité C, qui est la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1}{4 \times \pi^2 \times (162 \times 10^3)^2 \times 0.47 \times 10^{-9}} \approx 0.002053584$

4.2.1 Préciser, en justifiant, les fréquences présentes dans le spectre de la note restituée par le haut-parleur.

Données utiles fréquences transmises au démodulateur : de 160 kHz à 164 kHz ; $F = 162\ \text{kHz}$; $f_n = n \times 440\ \text{Hz}$

L'harmonique de rang n est porté par les fréquences $F - f_n$ et $F + f_n$. Il atteint le démodulateur si ces deux fréquences sont dans l'intervalle $[160\ \text{kHz}; 164\ \text{kHz}]$:

$F + f_n \leqslant 164\ \text{kHz}$ et $F - f_n \geqslant 160\ \text{kHz}$, soit $f_n \leqslant 164 - 162 = 2\ \text{kHz}$.

Alors $n \times 440 \leqslant 2 \times 10^3$, soit $n \leqslant \dfrac{2 \times 10^3}{440} = 4{,}5$, donc $n \leqslant 4$.

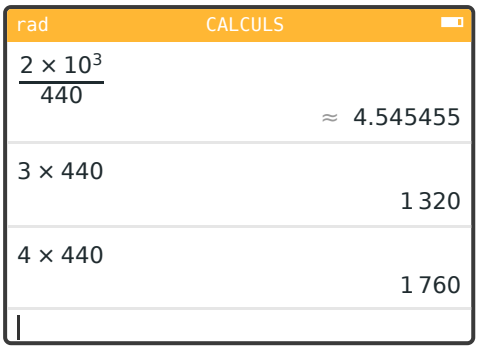
Les autres modules étant parfaits, le haut-parleur restitue seulement les quatre premiers harmoniques.

Fréquences restituées : $f_1 = 440\ \text{Hz}$; $f_2 = 880\ \text{Hz}$; $f_3 = 1{,}32\ \text{kHz}$; $f_4 = 1{,}76\ \text{kHz}$

PIÈGE
Répondre « de 160 kHz à 164 kHz » : ce sont les fréquences du signal modulé. Après démodulation, le haut-parleur restitue les fréquences sonores f_n, limitées ici à 2 kHz.

COMPRENDRE
Le récepteur est plus restrictif que l'émetteur : le canal laissait passer les sons jusqu'à 4,5 kHz, le circuit d'accord, très sélectif, les coupe au-delà de 2 kHz.

À LA CALCULATRICE



4.2.2 Comparer, en justifiant, la hauteur et le timbre de la note restituée par le haut-parleur à ceux de la note émise par le violon.

La hauteur d'une note est fixée par sa fréquence fondamentale. Le fondamental $f_1 = 440\ \text{Hz}$ est présent dans le son restitué comme dans le son du violon : la hauteur est la même, on entend toujours un la_3.

Le timbre dépend du nombre d'harmoniques et de leurs amplitudes relatives. Le son restitué ne contient plus que les rangs 1 à 4, alors que le violon en émet 13 : le timbre est différent.

Même hauteur (même fondamental, 440 Hz), mais timbre modifié (harmoniques de rang 5 à 13 absents).

COMPRENDRE

Privé de ses harmoniques aigus, dont celui de rang 5, le plus intense après le fondamental, le violon paraît plus sourd à la radio : c'est une limite de la réception en grandes ondes.