Spécialité : Téléphone portable et ondes radio

Bac S 2009 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Quel est l'ordre de grandeur de la fréquence des ondes porteuses utilisées pour le téléphone portable ?

Données utiles gamme de fréquences citée dans le texte : de 890 à 915 MHz

La gamme citée se situe autour de $900\ \text{MHz} = 900 \times 10^6\ \text{Hz} = 9{,}00 \times 10^8\ \text{Hz}$.

Comme $9{,}00 \geqslant 5$, on arrondit à la puissance de dix supérieure.

Ordre de grandeur de la fréquence : $f \sim 10^9\ \text{Hz}$

COMPRENDRE
L'ordre de grandeur est la puissance de dix la plus proche de la valeur : $9{,}00 \times 10^8$ est bien plus près de 10^9 que de 10^8.

COMPRENDRE
La modulation d'amplitude relevait de l'ancien enseignement de spécialité ; elle ne figure plus au programme actuel. Fréquence, période, longueur d'onde et lecture de courbe restent exigibles.

1.2 En déduire l'ordre de grandeur de la longueur d'onde dans le vide.

Données utiles $c = 3 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f \approx 9{,}00 \times 10^8\ \text{Hz}$ (1.1)

Dans le vide : $\lambda = \dfrac{c}{f}$

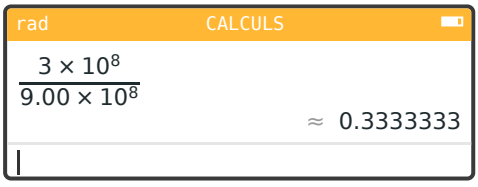
$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{9{,}00 \times 10^8} = 0{,}3\ \text{m}$$

Comme $0{,}3 = 3 \times 10^{-1}$ et $3 < 5$:

Ordre de grandeur de la longueur d'onde : $\lambda \sim 10^{-1}\ \text{m}$

COMPRENDRE
Un seul chiffre significatif, comme c donnée à 3×10^8. Une longueur d'onde de quelques dizaines de centimètres : les antennes des portables ont des dimensions comparables.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 En quel point, A, B ou C de la figure 1, trouve-t-on l'onde porteuse ?

La porteuse est la tension sinusoïdale de haute fréquence, fournie par l'oscillateur haute fréquence.

L'onde porteuse se trouve au point **B**.

2.1.2 En quel point, A, B ou C de la figure 1, trouve-t-on le signal modulant ?

Le signal modulant est la tension qui porte l'information : elle sort du micro, puis est amplifiée.

Le signal modulant se trouve au point **A**.

COMPRENDRE
Au point C, à la sortie du circuit de modulation, on trouve le signal modulé : la porteuse dont l'amplitude varie au rythme du signal modulant.

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

L'amplitude de la porteuse doit suivre fidèlement les variations du signal modulant : il faut un grand nombre de périodes de la porteuse pendant une période du signal modulant.

Il faut f_p très supérieure à f_m : $f_p \gg f_m$.

COMPRENDRE
C'est le cas ici : la voix correspond à des fréquences audibles, de 20 Hz à 20 kHz, alors que la porteuse est proche de 10^9 Hz (1.1).

2.2.2 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.

Données utiles $s(t) = k\,u_1(t)\,u_2(t)$; $u_1(t) = u(t) + U_0$; $u_2(t) = v(t) = V_m \cos(2\pi f_p t)$; $u(t) = U_m \cos(2\pi f_m t)$

$$s(t) = k\,u_1(t)\,u_2(t) = k\left[u(t) + U_0\right] v(t)$$
$$s(t) = k\left[U_m \cos(2\pi f_m t) + U_0\right] V_m \cos(2\pi f_p t)$$
En identifiant avec $s(t) = S_m \cos(2\pi f_p t)$:

$$\boxed{S_m = k\,V_m\left[U_m \cos(2\pi f_m t) + U_0\right]}$$

COMPRENDRE
S_m n'est pas une constante : elle dépend du temps et varie à la fréquence f_m. C'est le principe même de la modulation d'amplitude.

2.2.3 En posant $A = k\,V_m\,U_0$ et $m = U_m/U_0$, montrer que $S_m = A\left(m\cos(2\pi f_m t) + 1\right)$.

Données utiles $S_m = k\,V_m\left[U_m \cos(2\pi f_m t) + U_0\right]$ (2.2.2)

On met U_0 en facteur dans le crochet :

$$S_m = k\,V_m\,U_0\left[\frac{U_m}{U_0}\cos(2\pi f_m t) + 1\right]$$
Avec $A = k\,V_m\,U_0$ et $m = \dfrac{U_m}{U_0}$:

$$\boxed{S_m = A\left(m\cos(2\pi f_m t) + 1\right)\text{, expression attendue.}}$$

MÉTHODE
Pour faire apparaître un rapport comme U_m/U_0, factoriser par le dénominateur voulu, ici U_0 ; le produit $k\,V_m\,U_0$ se regroupe alors de lui-même.

2.2.4 Quelle condition doit remplir m, le taux de modulation, pour que la modulation soit de bonne qualité ?

L'amplitude S_m doit rester positive à chaque instant. Sa valeur minimale, obtenue pour $\cos(2\pi f_m t) = -1$, vaut $A\,(1 - m)$: il faut $1 - m > 0$.

Il faut $m < 1$, c'est-à-dire $U_m < U_0$.

COMPRENDRE
Si $m > 1$, il y a surmodulation : l'enveloppe du signal modulé ne reproduit plus le signal modulant et la démodulation par détection d'enveloppe restitue un signal déformé.

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

Données utiles courbe $s(t)$: échelle horizontale graduée en ms

La porteuse correspond aux oscillations rapides. Sur la courbe, on compte 20 périodes entre $t = 0$ et $t = 10$ ms :

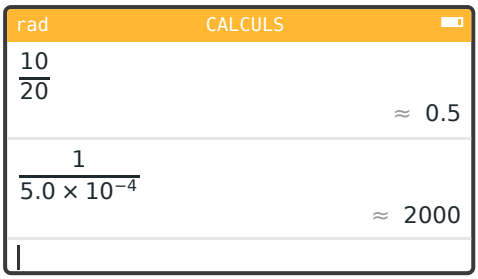
$$T_p = \frac{10}{20} = 0{,}50\text{ ms} = 5{,}0 \times 10^{-4}\text{ s}$$
$$f_p = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{5{,}0 \times 10^{-4}} = 2{,}0 \times 10^3\text{ Hz}$$

$$\boxed{f_p = 2{,}0 \times 10^3\text{ Hz}}$$

PIÈGE
Laisser la période en millisecondes : $1/0{,}50$ donnerait 2,0 kHz et non 2,0 Hz. Convertir en secondes avant de calculer la fréquence.

MÉTHODE
Mesurer la durée d'un grand nombre de périodes, puis diviser : l'incertitude de lecture est répartie sur toutes les périodes.

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles courbe $s(t)$: échelle horizontale graduée en ms

Le signal modulant impose la forme de l'enveloppe, c'est-à-dire la ligne qui joint les sommets des oscillations. L'enveloppe est maximale à $t = 0$, 5, 10 et 15 ms : 2 périodes durent 10 ms.

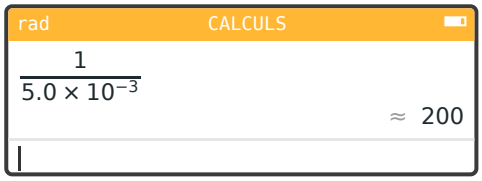
$$T_m = \frac{10}{2} = 5{,}0 \text{ ms} = 5{,}0 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$f_m = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{5{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}0 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

$$\boxed{f_m = 2{,}0 \times 10^{2} \text{ Hz}}$$

COMPRENDRE
Ici $f_p = 10\, f_m$ seulement : la simulation privilégie la lisibilité. Pour un portable réel, le rapport dépasse plusieurs dizaines de milliers.

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles $m = \dfrac{S_{m\,max} - S_{m\,min}}{S_{m\,max} + S_{m\,min}}$

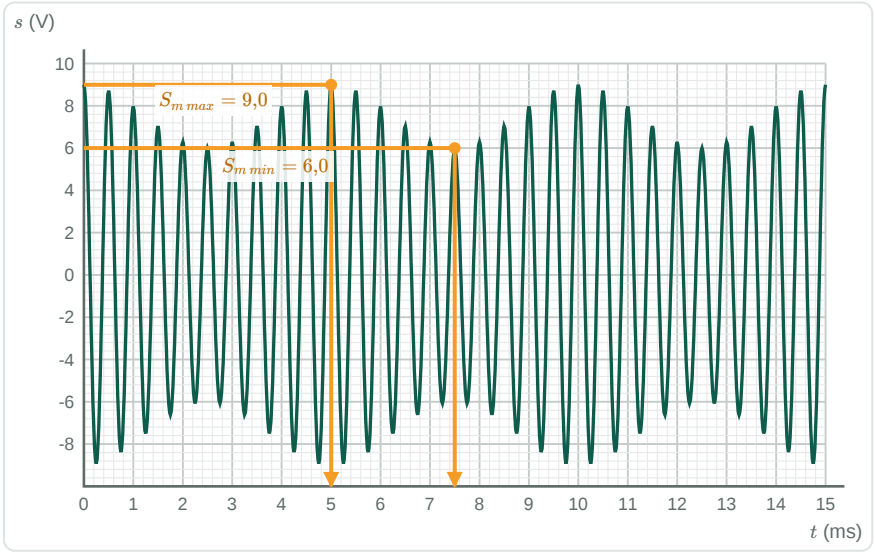
Sur l'enveloppe supérieure, on lit : $S_{m\,max} = 9{,}0$ V (à $t = 5$ ms) et $S_{m\,min} = 6{,}0$ V (à $t = 7{,}5$ ms).

$$m = \frac{9{,}0 - 6{,}0}{9{,}0 + 6{,}0} = 0{,}20$$

$$\boxed{S_{m\,max} = 9{,}0 \text{ V} \; ; \; S_{m\,min} = 6{,}0 \text{ V} \; ; \; m = 0{,}20}$$

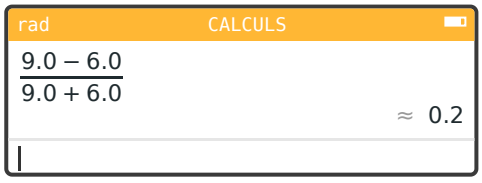
PIÈGE
Prendre pour $S_{m\,min}$ le point le plus bas de la courbe (-9 V). $S_{m\,min}$ est le plus petit sommet de l'enveloppe supérieure, là où les oscillations sont les moins hautes.

COMPRENDRE
m est un rapport de tensions, donc sans unité. On vérifie $m < 1$: la condition de la question 2.2.4 est respectée.



2.3.3 · Tension modulée $s(t)$ du sujet, avec les lectures de $S_{m\,max}$ et $S_{m\,min}$

À LA CALCULATRICE



3.1 Parmi les circuits (a), (b) et (c), indiquer celui qu'il convient d'utiliser pour le détecteur d'enveloppe.

Le détecteur d'enveloppe comporte une diode, qui supprime les alternances négatives, suivie d'un conducteur ohmique et d'un condensateur en parallèle, qui éliminent la porteuse.

Détecteur d'enveloppe : circuit **(b)**.

COMPRENDRE
Le circuit (a), sans condensateur, ne fait que redresser la tension : les oscillations de la porteuse subsistent. C'est la décharge lente du condensateur dans le conducteur ohmique qui fait suivre l'enveloppe.

3.2 Parmi les circuits (a), (b) et (c), indiquer celui qu'il convient d'utiliser pour le filtre passe-haut.

Le filtre passe-haut est un dipôle RC série dont le condensateur est placé sur le trajet du signal : la tension de sortie est prise aux bornes du conducteur ohmique.

Filtre passe-haut : circuit **(c)**.

COMPRENDRE
Le condensateur bloque la composante continue, c'est-à-dire la tension de décalage U_0 : il ne reste que la partie variable, image du signal modulant, envoyée vers l'amplificateur puis le haut-parleur.