Spécialité : Réalisation d'une modulation d'amplitude

Bac S 2011 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Pourquoi n'est-il pas possible de transmettre une onde sonore sur de grandes distances ?

Une onde sonore est une onde mécanique : elle a besoin d'un milieu matériel et s'y amortit rapidement. Son amplitude devient vite trop faible pour être perçue.

De plus, tous les émetteurs occuperaient la même bande de fréquences (20 Hz à 20 kHz) : leurs signaux se mélangeraient.

Le son s'atténue trop vite dans l'air : sa portée reste très limitée.

COMPRENDRE
La modulation d'amplitude relevait de l'ancien enseignement de spécialité ; elle ne figure plus au programme actuel. Les outils utilisés ici restent exigibles : période, fréquence, lecture d'oscillogramme, relation entre longueur d'onde et fréquence.

1.2 Pourquoi est-il possible d'utiliser une porteuse de grande fréquence ?

Une porteuse de grande fréquence est émise sous forme d'onde électromagnétique : elle se propage à la célérité c, sans support matériel, et reste détectable très loin de l'émetteur.

Sa longueur d'onde $\lambda = \dfrac{c}{f}$ est d'autant plus petite que f est grande : l'antenne, dont la taille est de l'ordre de λ, garde des dimensions réalisables.

Onde électromagnétique de grande portée, captée par une antenne de taille raisonnable.

COMPRENDRE
Chaque station reçoit sa propre fréquence porteuse. Le récepteur sélectionne une station en s'accordant sur cette fréquence : les émissions ne se brouillent pas.

2.1 Compléter le schéma de la figure 1 en ajoutant les deux GBF et les flèches des tensions $u_P(t)$, $u_1(t)$ et $s(t)$.

Chaque tension d'entrée du multiplieur est appliquée entre une entrée et la masse :

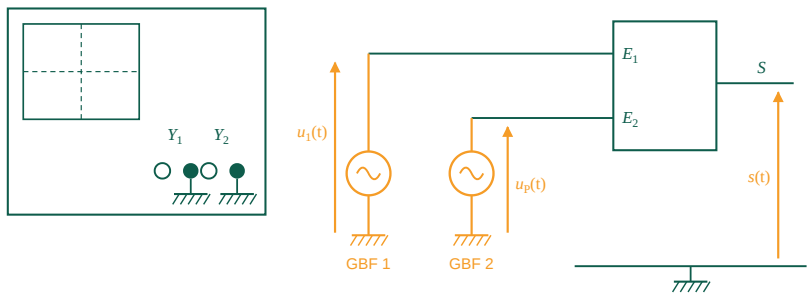
- le GBF 1 est branché entre E_1 et la masse : il délivre le signal modulant $u_1(t)$;
- le GBF 2 est branché entre E_2 et la masse : il délivre la porteuse $u_P(t)$;
- le signal modulé $s(t)$ est la tension entre la sortie S et la masse.

Chaque flèche part de la masse et pointe vers la borne concernée.

Voir la figure 1 complétée : $u_1(t)$ sur E_1, $u_P(t)$ sur E_2, $s(t)$ en sortie.

PIÈGE
Une flèche tension se dessine à côté du dipôle, entre ses deux bornes, la pointe du côté de l'entrée. Une flèche tracée sur un fil représenterait un courant.

COMPRENDRE
Les deux entrées jouent le même rôle, puisque $s = k\,u_1\,u_P$: on peut échanger les deux GBF. Toutes les masses dessinées forment un seul et même point de référence.



2.1 · Figure 1 complétée : les deux GBF et les trois tensions (en orange)

2.2 Sur le même schéma, représenter les fils de connexion à l'oscilloscope permettant de visualiser $u_1(t)$ sur la voie 1 et $u_P(t)$ sur la voie 2.

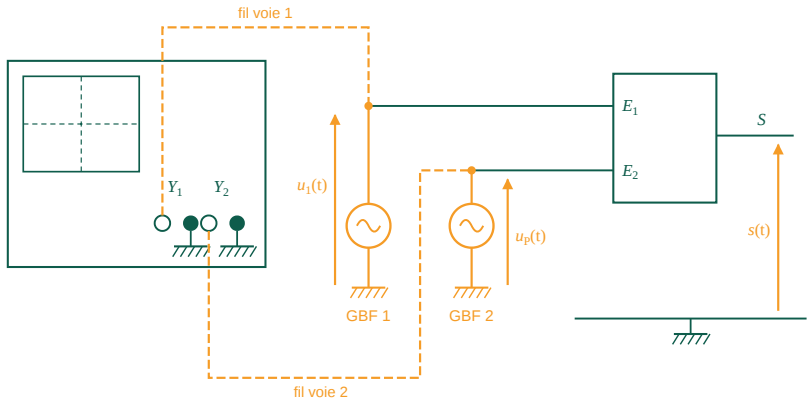
Un fil relie la borne d'entrée de la voie Y_1 à l'entrée E_1 (borne du GBF 1 qui n'est pas à la masse) : la voie 1 affiche $u_1(t)$.

Un second fil relie la borne d'entrée de la voie Y_2 à l'entrée E_2 : la voie 2 affiche $u_P(t)$.

Les bornes noires de l'oscilloscope sont déjà à la masse, commune avec celle du montage.

Y_1 reliée à E_1 et Y_2 reliée à E_2, masses communes.

MÉTHODE
Un oscilloscope mesure la tension entre le point relié à sa voie et la masse. Pour visualiser une tension, repérer le point situé à la pointe de sa flèche et y brancher la voie.



2.2 · Figure 1 : branchements de l'oscilloscope (pointillés orange)

2.3.1 Calculer la période T_P de la porteuse.

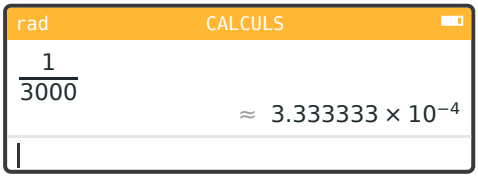
Données utiles $f_P = 3000$ Hz

$$T_P = \frac{1}{f_P} = \frac{1}{3000} = 3{,}33 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$T_P = 3{,}33 \times 10^{-4}$ s $= 0{,}333$ ms

COMPRENDRE
On garde trois chiffres significatifs : la valeur sert ensuite à compter des divisions sur l'écran. Avec deux chiffres, comme pour U_P, on écrirait $3{,}3 \times 10^{-4}$ s.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 Représenter la tension $u_P(t)$ sur la figure 2 de l'annexe.

Données utiles $U_P = 2{,}5$ V ; $T_P = 0{,}333$ ms (2.3.1) ; sensibilités : $1\ \text{V} \cdot \text{div}^{-1}$ et $0{,}1\ \text{ms} \cdot \text{div}^{-1}$

Dans l'expression de l'énoncé, f désigne la fréquence f_P : $u_P(t) = U_P \cos(2\pi f_P\, t)$.

Hauteur de l'amplitude : $\dfrac{2{,}5}{1} = 2{,}5$ divisions de part et d'autre de l'axe central.

Largeur d'une période : $\dfrac{0{,}333}{0{,}1} = 3{,}33$ divisions.

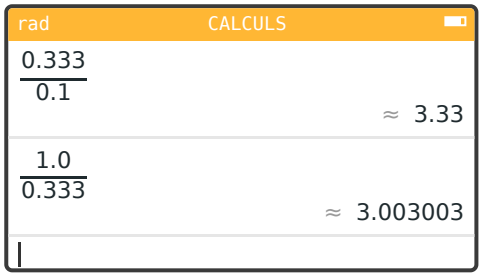
L'écran compte 10 divisions, soit $1{,}0$ ms : on y trace $\dfrac{1{,}0}{0{,}333} = 3$ périodes. La fonction est un cosinus : en prenant $t = 0$ au bord gauche, la courbe part de son maximum.

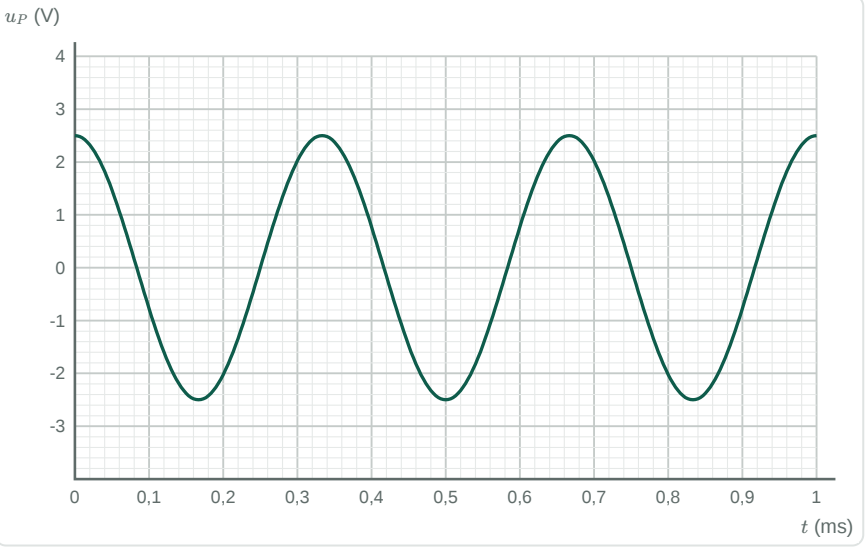
> Sinusoïde centrée sur l'axe, d'amplitude 2,5 div et de période 3,33 div : 3 périodes à l'écran.

PIÈGE
L'amplitude se mesure de l'axe central au sommet. La courbe s'étend donc sur 5 divisions de crête à crête, et non sur 2,5.

COMPRENDRE
L'énoncé écrit f pour f_P et annonce la « voie 1 » alors que la question 2.2 place la porteuse sur la voie 2. Ces coquilles ne changent pas le tracé, fixé par les deux sensibilités.

À LA CALCULATRICE





2.3.2 · Figure 2 complétée : 1 V/div et 0,1 ms/div, trois périodes sur l'écran

2.4.1 Choisir, en justifiant, l'expression de la tension $u_1(t)$: $U_1 \cos(2\pi f_1 t)$ ou $U_1 \cos(2\pi f_1 t) + U_0$.

Sur l'oscillogramme, la tension oscille symétriquement autour de l'axe central : elle monte à $+3$ divisions et descend à -3 divisions. Sa valeur moyenne est nulle : il n'y a pas de tension de décalage U_0.

> $u_1(t) = U_1 \cos(2\pi f_1\, t)$

COMPRENDRE
Multipliée seule par la porteuse, cette tension donnerait une enveloppe qui s'annule. La figure 3 montre une enveloppe qui reste loin de zéro : une tension continue U_0 a donc été ajoutée au signal modulant avant le multiplieur.

2.4.2 Choisir, en justifiant, la fréquence f_1 que doit délivrer le GBF : 10 000 Hz ou 100 Hz.

Données utiles $f_P = 3000$ Hz ; figure 3 : $2\ \text{ms} \cdot \text{div}^{-1}$

Pour une modulation d'amplitude correcte, la fréquence de la porteuse doit être très supérieure à celle du signal modulant : $f_P \gg f_1$.

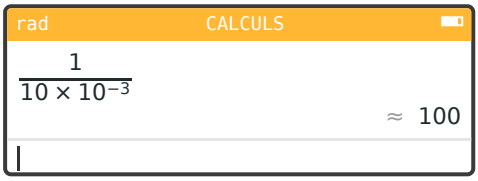
Avec $f_P = 3000$ Hz, seule la valeur 100 Hz convient (10 000 Hz est supérieure à f_P).

Vérification sur la figure 3 : l'enveloppe se répète toutes les 5 divisions, soit $T_1 = 5 \times 2 = 10$ ms, d'où $f_1 = \dfrac{1}{10 \times 10^{-3}} = 100$ Hz.

$f_1 = 100$ Hz

MÉTHODE
Dans un signal modulé en amplitude, les oscillations rapides ont la fréquence de la porteuse et l'enveloppe a la fréquence du signal modulant. La période de l'enveloppe donne donc directement f_1.

À LA CALCULATRICE



2.4.3 Déterminer l'amplitude U_1 de la tension.

Données utiles sensibilité verticale : $0{,}5\ \text{V} \cdot \text{div}^{-1}$

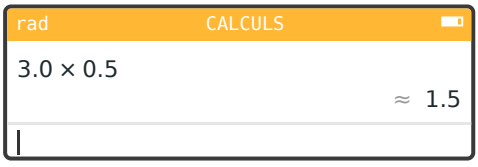
Le sommet de la courbe se situe à 3,0 divisions au-dessus de l'axe central.

$$U_1 = 3{,}0 \times 0{,}5 = 1{,}5\ \text{V}$$

$U_1 = 1{,}5$ V

PIÈGE
Lire 6 divisions donne la tension crête à crête (3,0 V), soit le double de l'amplitude.

À LA CALCULATRICE



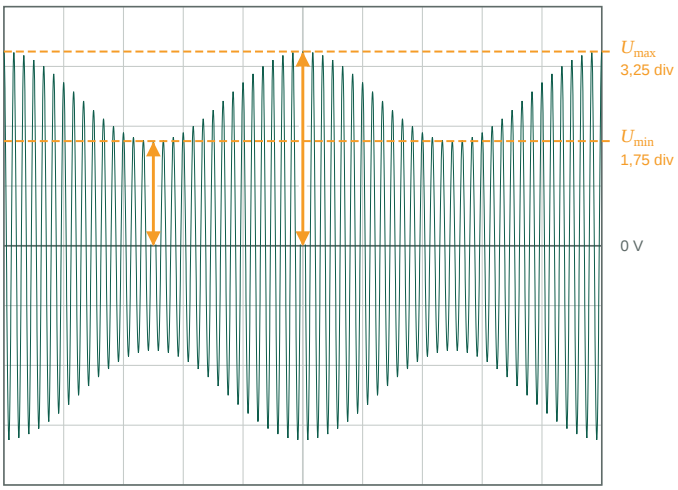
2.5.1 Faire apparaître U_{min} et U_{max} sur l'oscillogramme de la figure 3.

L'amplitude U_m de la tension modulée est la hauteur de l'enveloppe au-dessus de l'axe central (0 V).

U_{max} se lit là où l'enveloppe est la plus haute (ventre), U_{min} là où elle est la plus resserrée (creux).

Voir la figure 3 complétée : U_{max} au sommet de l'enveloppe, U_{min} à son creux, mesurées depuis l'axe central.

PIÈGE
U_{min} n'est pas la valeur la plus basse de $s(t)$, qui est négative. C'est la plus petite amplitude, donc une valeur positive lue sur l'enveloppe supérieure.



2.5.1 · Figure 3 complétée : amplitudes extrêmes de la tension modulée

2.5.2 Calculer le taux de modulation m.

Données utiles $m = \dfrac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$; figure 3 : $2\ \text{V} \cdot \text{div}^{-1}$

Lecture sur la figure 3 : le sommet de l'enveloppe est à environ $3{,}25$ divisions de l'axe, son creux à environ $1{,}75$ division.

$$U_{max} = 3{,}25 \times 2 = 6{,}5\ \text{V} \qquad U_{min} = 1{,}75 \times 2 = 3{,}5\ \text{V}$$

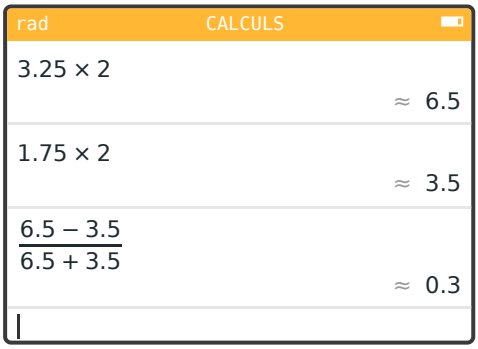
$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} = \frac{6{,}5 - 3{,}5}{6{,}5 + 3{,}5} = 0{,}30$$

$m \approx 0{,}30$ (sans unité)

COMPRENDRE
La lecture se fait au quart de division près : toute valeur de m voisine de $0{,}3$ est acceptable. Le taux est un rapport de tensions : on peut le calculer directement avec les nombres de divisions.

MÉTHODE
Pour une lecture plus fine, mesurer les hauteurs crête à crête de l'enveloppe ($2\,U_{max}$ et $2\,U_{min}$) : le facteur 2 se simplifie dans le rapport.

À LA CALCULATRICE



2.5.3 Quelle condition sur m permet d'éviter une surmodulation ?

Il n'y a pas de surmodulation tant que l'amplitude U_m ne s'annule pas, c'est-à-dire tant que $U_{min} > 0$. D'après l'expression de m, cela revient à :

$m < 1$; c'est le cas ici, puisque $m \approx 0{,}30$.

COMPRENDRE
Si $m > 1$, l'enveloppe du signal modulé ne reproduit plus la forme du signal modulant : un récepteur à détection d'enveloppe restituerait un son déformé.

3 Calculer l'ordre de grandeur de la fréquence des ondes hertziennes kilométriques (« grandes ondes »).

Données utiles $1052\ \text{m} \leqslant \lambda \leqslant 2000\ \text{m}$; $c = 3{,}0 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

La longueur d'onde et la fréquence sont liées par $\lambda = \dfrac{c}{f}$, donc $f = \dfrac{c}{\lambda}$.

Pour $\lambda = 2000$ m : $f = \dfrac{3{,}0 \times 10^8}{2000} = 1{,}5 \times 10^5\ \text{Hz}$

Pour $\lambda = 1052$ m : $f = \dfrac{3{,}0 \times 10^8}{1052} = 2{,}9 \times 10^5\ \text{Hz}$

f est de l'ordre de 10^5 Hz (entre 150 kHz et 290 kHz).

COMPRENDRE

Avec la porteuse de l'expérience (3000 Hz), on aurait $\lambda = \dfrac{c}{f_P} = 1{,}0 \times 10^5$ m, soit 100 km : aucune antenne n'a cette taille. D'où des porteuses de fréquence bien plus élevée.

À LA CALCULATRICE

