Service et réception au volley-ball

Bac S 2018 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

1.1 Identifier le domaine des ondes électromagnétiques émises par le radar portatif. Justifier par un calcul.

Données utiles $f_{\text{émise}} = 3{,}47 \times 10^{10}$ Hz ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; axe des domaines en fonction de λ

Longueur d'onde dans l'air : $\lambda = \dfrac{c}{f_{\text{émise}}}$

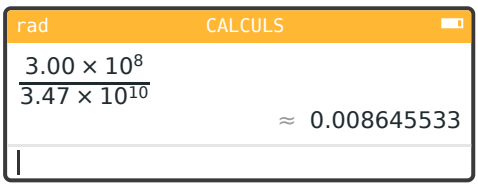
$$\lambda = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{3{,}47 \times 10^{10}} = 8{,}65 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

Cette valeur est comprise entre 10^{-3} m et 1 m.

$\lambda = 8{,}65 \times 10^{-3}$ m : le radar émet des **micro-ondes**.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme la fréquence et la valeur de c utilisée. L'axe du sujet est gradué en longueur d'onde : il faut donc convertir la fréquence avant de conclure.

À LA CALCULATRICE



1.2 Nommer le phénomène à l'origine de la différence de fréquence entre les ondes émise et reçue par le radar.

L'onde se réfléchit sur un objet en mouvement par rapport au radar : sa fréquence est modifiée.

Il s'agit de l'**effet Doppler**.

1.3 Le radar est face au serveur et vise le ballon. La fréquence de l'onde reçue est-elle inférieure ou supérieure à celle de l'onde émise ? Justifier.

Après la frappe, le ballon se dirige vers le radar : il s'en rapproche. Les fronts d'onde renvoyés par le ballon sont alors resserrés, la longueur d'onde reçue est plus petite que celle émise. La célérité étant inchangée, la fréquence reçue est plus grande.

$f_{\text{reçue}} > f_{\text{émise}}$ car le ballon se rapproche du radar.

MÉTHODE
Effet Doppler : rapprochement, fréquence perçue plus élevée ; éloignement, fréquence perçue plus basse. C'est la sirène plus aiguë quand le véhicule arrive, plus grave quand il repart.

1.4 En déduire la valeur de la vitesse du ballon. Vérifier l'accord avec l'indication de l'écran du radar de la figure 2.

Données utiles $|\Delta f| = 4{,}86$ kHz ; $f_{\text{émise}} = 3{,}47 \times 10^{10}$ Hz ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; écran du radar : $76\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

De $|\Delta f| = \dfrac{2\, v_0\, f_{\text{émise}}}{c}$ on tire $v_0 = \dfrac{c\,|\Delta f|}{2\, f_{\text{émise}}}$

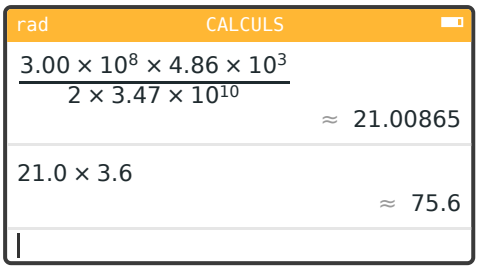
$$v_0 = \frac{3{,}00 \times 10^{8} \times 4{,}86 \times 10^{3}}{2 \times 3{,}47 \times 10^{10}} = 21{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Conversion : $v_0 = 21{,}0 \times 3{,}6 = 75{,}6\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, soit $76\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ en arrondissant à l'unité, comme l'écran.

$v_0 = 21{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 75{,}6\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: en accord avec les $76\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ affichés.

PIÈGE
Laisser $|\Delta f|$ en kHz donne une vitesse mille fois trop petite. Pour passer des $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ aux $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, on multiplie par 3,6 (on ne divise pas).

À LA CALCULATRICE



2.1 Montrer que, si on néglige l'action de l'air, les coordonnées du vecteur accélération du centre du ballon après la frappe sont $a_x(t) = 0$ et $a_y(t) = -g$.

Système : {ballon}, de masse m constante. Référentiel : terrestre, supposé galiléen.

Bilan des forces : l'action de l'air étant négligée, seul le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ s'exerce sur le ballon après la frappe.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical, dirigé vers le bas, alors que l'axe (Oy) est orienté vers le haut : $\vec{g}\,(0\,;\,-g)$.

$$\boxed{a_x(t) = 0 \text{ et } a_y(t) = -g}$$

MÉTHODE
Toujours quatre étapes : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton. On projette ensuite sur les axes en regardant leur orientation.

2.2 Établir les équations horaires $x(t) = v_0 t$ et $y(t) = -\dfrac{gt^2}{2} + h$, puis en déduire l'équation de la trajectoire $y(x) = -\dfrac{g}{2v_0^2}\,x^2 + h$.

Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de a_x et a_y : $v_x(t) = C_1$ et $v_y(t) = -g\,t + C_2$.

À $t = 0$, $\vec{v}_0$ est horizontal : $v_x(0) = v_0$ et $v_y(0) = 0$, donc $C_1 = v_0$ et $C_2 = 0$.

$$v_x(t) = v_0 \qquad v_y(t) = -g\,t$$

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OB}}{\mathrm{d}t}$, on prend de nouveau les primitives : $x(t) = v_0\,t + C_3$ et $y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + C_4$.

À $t = 0$, le centre du ballon est en $B_0\,(0\,;\,h)$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = h$.

$$x(t) = v_0\,t \qquad y(t) = -\frac{g\,t^2}{2} + h$$

Trajectoire : $t = \dfrac{x}{v_0}$, que l'on reporte dans $y(t)$: $y = -\dfrac{g}{2}\left(\dfrac{x}{v_0}\right)^2 + h$.

$$\boxed{y(x) = -\frac{g}{2\,v_0^2}\,x^2 + h}$$

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration ou ne pas les justifier par les conditions initiales. Ici la vitesse initiale est horizontale : aucun angle, aucun terme en t dans $y(t)$.

COMPRENDRE
L'énoncé écrit « le vecteur initiale $\vec{v}_0$ » : il faut lire « le vecteur vitesse initiale ».

2.3 En admettant que le ballon franchisse le filet, vérifier qu'il touche le sol avant la ligne de fond.

Données utiles $v_0 = 21{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $h = 3{,}5\ \text{m}$; $r = 10\ \text{cm}$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; ligne de fond adverse en $x = L = 18{,}0\ \text{m}$

Le ballon touche le sol quand son centre est à la hauteur d'un rayon : $y = r$.

$$r = -\frac{g}{2\,v_0^2}\,x_{\text{sol}}^2 + h \quad \text{donc} \quad x_{\text{sol}} = v_0\sqrt{\frac{2\,(h-r)}{g}}$$

(on garde la solution positive).

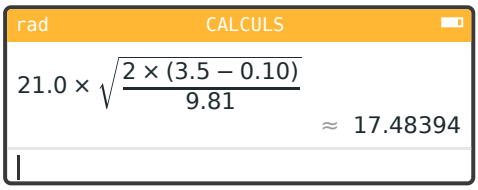
$$x_{\text{sol}} = 21{,}0 \times \sqrt{\frac{2\times(3{,}5-0{,}10)}{9{,}81}} = 17{,}5\ \text{m}$$

$x_{\text{sol}} \approx 17{,}5\ \text{m} < L = 18{,}0\ \text{m}$: le ballon touche le sol avant la ligne de fond.

PIÈGE
h n'a que deux chiffres significatifs : arrondi à deux chiffres, le résultat ne se distingue plus nettement de $18{,}0$ m. On garde un chiffre de plus pour comparer.

COMPRENDRE
Sans tenir compte du rayon ($y = 0$), on trouve $x_{\text{sol}} = 17{,}7$ m : la conclusion est la même, mais la marge est plus faible. Les deux démarches sont recevables si l'hypothèse est écrite.

À LA CALCULATRICE



2.4.1 Rappeler les expressions littérales des énergies cinétique E_c, potentielle de pesanteur E_{PP} et mécanique E_m du ballon en un point quelconque de la trajectoire.

Pour le ballon de masse m, de vitesse v, dont le centre est à l'altitude y :

$E_c = \frac{1}{2}\,m\,v^2$

$E_{PP} = m\,g\,y$ (axe vertical vers le haut, $E_{PP} = 0$ pour $y = 0$)

$$E_m = E_c + E_{PP} = \frac{1}{2}\,m\,v^2 + m\,g\,y$$

2.4.2 Associer chaque courbe 1, 2, 3 de la figure 3 à l'une des trois énergies E_m, E_{PP}, E_c. Justifier.

Courbe 3 : elle est horizontale. Sans action de l'air, le ballon n'est soumis qu'à son poids, force conservative : l'énergie mécanique se conserve. C'est E_m.

Courbe 1 : elle décroît jusqu'à s'annuler. L'altitude y diminue pendant la chute, donc $E_{PP} = m\,g\,y$ diminue. C'est E_{PP}.

Courbe 2 : elle croît. La vitesse du ballon augmente pendant la chute, donc E_c augmente. C'est E_c.

Courbe 1 : E_{PP} ; courbe 2 : E_c ; courbe 3 : E_m.

COMPRENDRE
La courbe 2 ne part pas de zéro : le ballon a déjà la vitesse v_0 à $t = 0$. À chaque instant, la somme des courbes 1 et 2 donne la courbe 3.

2.4.3 À l'aide de l'étude énergétique précédente, déterminer la valeur de la vitesse v_{sol} du centre du ballon lorsque le ballon touche le sol.

Données utiles $v_0 = 21{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $h = 3{,}5\ \text{m}$; $r = 10\ \text{cm}$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

L'énergie mécanique se conserve entre la frappe ($y = h$, vitesse v_0) et le contact avec le sol ($y = r$, vitesse v_{sol}) :

$$\frac{1}{2}\,m\,v_0^2 + m\,g\,h = \frac{1}{2}\,m\,v_{\text{sol}}^2 + m\,g\,r$$

En multipliant par $\frac{2}{m}$: $v_{\text{sol}} = \sqrt{v_0^2 + 2\,g\,(h - r)}$

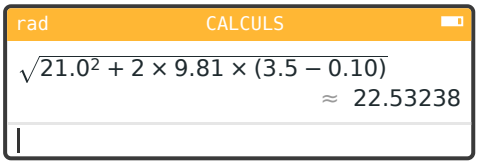
$$v_{\text{sol}} = \sqrt{21{,}0^2 + 2 \times 9{,}81 \times (3{,}5 - 0{,}10)} = 23\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$v_{\text{sol}} = 23\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

PIÈGE
La figure 3 n'a pas d'échelle verticale et ne donne qu'une allure : y lire des valeurs d'énergie conduit à un résultat faux. On s'appuie sur la conservation de E_m.

COMPRENDRE
La masse se simplifie : le résultat n'en dépend pas. En prenant $y = 0$ au sol, comme le suggère le choix de l'origine de E_{PP}, on obtient 22,6, soit encore $23\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



2.5 En réalité, la vitesse v_{sol} est plus faible que celle déterminée à la question 2.4.3. Proposer une explication.

Le calcul néglige l'action de l'air. En réalité, l'air exerce sur le ballon des forces de frottement, non conservatives, dont le travail est résistant : l'énergie mécanique du ballon diminue au cours du mouvement.

À cause des frottements de l'air, E_m diminue : l'énergie cinétique à l'arrivée au sol, donc v_{sol}, est plus faible que prévu.

3 Évaluer la vitesse moyenne minimale du déplacement du joueur adverse, parti de sa ligne de fond à $t = 0$, pour réceptionner le ballon au point R. Ce résultat semble-t-il réaliste ?

Données utiles $h_R = 80$ cm ; $r = 10$ cm ; $h = 3{,}5$ m ; $L = 18{,}0$ m ; $v_0 = 21{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; équations horaires (2.2)

Altitude du centre du ballon à la réception. Le contact se fait en R, sous le ballon, à $h_R = 0{,}80$ m du sol : le centre est alors à $y_R = h_R + r = 0{,}90$ m.

Date de la réception. $y(t_R) = y_R$ s'écrit $-\dfrac{g\,t_R^2}{2} + h = y_R$, donc

$$t_R = \sqrt{\frac{2\,(h - y_R)}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times (3{,}5 - 0{,}90)}{9{,}81}} = 0{,}73\ \text{s}$$

Abscisse du ballon à cette date. $x_R = v_0\,t_R = 21{,}0 \times 0{,}728 = 15{,}3$ m.

Vitesse du joueur. Il part de $x = L$ à $t = 0$ et doit être en x_R à la date t_R : il parcourt $d = L - x_R$ pendant t_R.

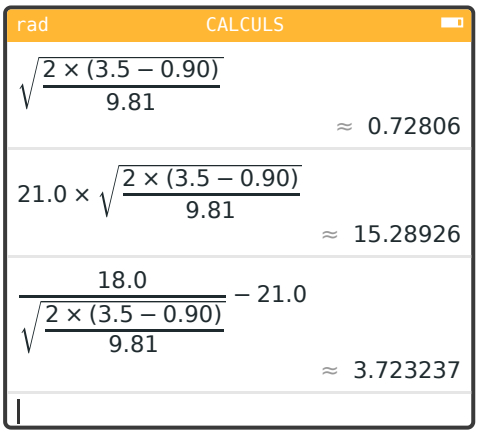
$$v_J = \frac{L - x_R}{t_R} = \frac{L}{t_R} - v_0 = \frac{18{,}0}{0{,}728} - 21{,}0 = 3{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

soit environ $13\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Critique. C'est l'allure d'une course modérée, loin des $10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ d'un sprinteur. Mais le joueur part de l'arrêt et n'a que $0{,}73$ s pour parcourir $2{,}7$ m : sa vitesse en fin de course dépasse nettement cette moyenne. Cela demande une très bonne réactivité, mais reste accessible à un joueur entraîné.

$v_J \approx 3{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 13\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: valeur réaliste pour un sportif.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Arrondir t_R à $0{,}73$ s avant de poursuivre fausse le résultat final, car v_J est une petite différence entre deux grands nombres. On garde la valeur non arrondie dans la calculatrice.

COMPRENDRE

Sans le rayon ($y_R = 0{,}80$ m), on obtient $3{,}3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, soit $12\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: même ordre de grandeur, même conclusion. La démarche compte plus que la valeur.

MÉTHODE

Question ouverte : 1) traduire la situation en conditions sur x et y ; 2) trouver la date avec $y(t)$; 3) trouver la position avec $x(t)$; 4) distance divisée par durée ; 5) comparer à un ordre de grandeur connu.