Les drones grand public

Bac S 2016 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

1.1 **a.** Identifier les éléments de la chaîne de transmission des images. **b.** Calculer l'atténuation du signal à 10 m. **c.** En déduire la puissance maximale reçue par le téléphone à 10 m. **d.** Le débit théorique maximal permet-il de visualiser la vidéo en direct ?

Données utiles $A = 40 + 20 \times \log(d)$; $A = 10 \times \log\left(\frac{P_e}{P_r}\right)$; $P_{e,\max} = 100$ mW ; débit maximal 54 Mbits/s ; webcam 1280×720 pixels, 30 images par seconde, 24 bits par pixel

a. La chaîne de transmission comporte trois éléments :

- l'émetteur : le drone (sa webcam fournit les images, son antenne WiFi les émet) ;
- le canal de transmission : l'air, où se propage librement une onde électromagnétique de fréquence 2,4 GHz ;
- le récepteur : le téléphone portable.

b. Pour $d = 10$ m : $A = 40 + 20 \times \log(10) = 40 + 20 \times 1$

$$A = 60 \text{ dB}$$

c. De $A = 10 \times \log\left(\frac{P_e}{P_r}\right)$ on tire $\frac{P_e}{P_r} = 10^{A/10}$, donc $P_r = P_e \times 10^{-A/10}$.

La puissance reçue est maximale quand la puissance émise l'est, soit $P_e = 100$ mW :

$$P_r = 100 \times 10^{-60/10} = 1{,}0 \times 10^{-4} \text{ mW}$$

$$P_r = 1{,}0 \times 10^{-4} \text{ mW} = 1{,}0 \times 10^{-7} \text{ W}$$

d. Une image contient 1280×720 pixels codés chacun sur 24 bits, et il faut transmettre 30 images par seconde. Le débit binaire nécessaire est :

$$D = 1280 \times 720 \times 24 \times 30 = 6{,}6 \times 10^{8} \text{ bits/s} \approx 664 \text{ Mbits/s}$$

$D \approx 664$ Mbits/s > 54 Mbits/s : le débit théorique maximal ne permet pas de visualiser en direct cette vidéo non compressée.

PIÈGE

Ici « log » est le logarithme décimal : sa réciproque est 10^x, pas l'exponentielle. Une atténuation de 60 dB divise la puissance par 10^6, et non par 60.

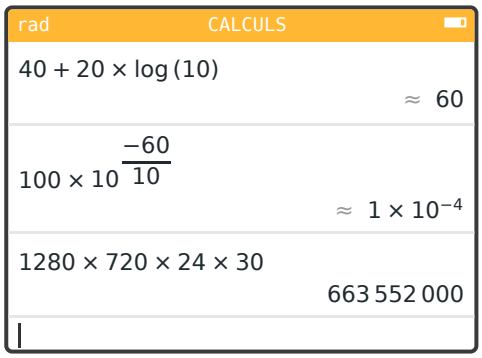
COMPRENDRE

Chaîne de transmission et débit binaire d'une vidéo ne figurent plus au programme actuel de spécialité ; le calcul d'une atténuation en décibels reste exigible. P_r s'écrit avec deux chiffres significatifs, comme la distance 10 m.

MÉTHODE

Débit d'une vidéo = pixels par image × bits par pixel × images par seconde. En pratique la vidéo est compressée avant l'envoi, ce qui rend le direct possible.

À LA CALCULATRICE



1.2 **a.** Comparer la fréquence émise par le drone et la fréquence reçue par le téléphone quand le drone s'éloigne ; estimer la variation relative de fréquence. **b.** Calculer la longueur d'onde des signaux WiFi. **c.** Un tronc d'arbre peut-il diffracter ces ondes ? **d.** Condition d'interférences destructives et conséquence sur la puissance reçue. **e.** Indiquer, parmi $\frac{T}{2}$, T, kT, $kT+\frac{T}{2}$ et $k\frac{T}{2}$, les valeurs de Δt qui donnent des interférences destructives.

Données utiles $f_R - f_E = \pm\frac{v}{c} f_E$; $v \approx 3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $c = 3{,}0\times10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $f_E = 2{,}4$ GHz ; $\Delta t = \tau_1 - \tau_2$; k entier naturel

a. Le drone (émetteur) s'éloigne du téléphone (récepteur) : la fréquence reçue est plus petite que la fréquence émise, $f_R < f_E$. Le signe à retenir est donc « $-$ » : $f_R - f_E = -\frac{v}{c} f_E$.

$$\frac{|f_R - f_E|}{f_E} = \frac{v}{c} = \frac{3}{3{,}0\times10^{8}}$$

$f_R < f_E$; variation relative $\frac{|f_R - f_E|}{f_E} \approx 1\times10^{-8}$, tout à fait négligeable.

b. $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}0\times10^{8}}{2{,}4\times10^{9}}$

$\lambda = 0{,}13$ m, soit environ 13 cm

c. La diffraction est nette lorsque la dimension de l'obstacle est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde, ou plus petite. Le diamètre d'un tronc d'arbre vaut quelques dizaines de centimètres, comme $\lambda \approx 13$ cm.

Oui : un tronc d'arbre est susceptible de diffracter les ondes WiFi.

d. Les interférences sont destructives là où les deux ondes arrivent en opposition de phase, c'est-à-dire lorsque la différence de marche vaut un nombre impair de demi-longueurs d'onde :

$$\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k \text{ entier})$$

Si $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$, les ondes se compensent : la puissance reçue par le téléphone est minimale (très faible, voire nulle).

e. L'onde qui suit A-C-B arrive avec le retard $\Delta t = \frac{\delta}{c}$. Comme $\lambda = cT$, la condition précédente s'écrit :

$$\Delta t = (2k+1)\frac{T}{2} = kT + \frac{T}{2}$$

- $kT + \frac{T}{2}$ convient, ainsi que $\frac{T}{2}$ qui en est le cas $k = 0$;
- T et kT : retard multiple de la période, ondes en phase, interférences constructives ;
- $k\frac{T}{2}$: pour k pair on retrouve un multiple de T, la condition n'est donc pas assurée.

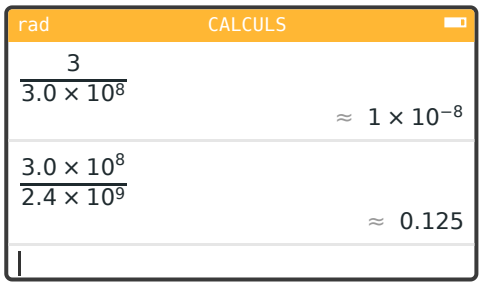
Interférences destructives pour $\Delta t = \frac{T}{2}$ et $\Delta t = kT + \frac{T}{2}$.

PIÈGE
Convertir 2,4 GHz en $2{,}4\times10^{9}$ Hz. Pour le tronc, il faut proposer soi-même un ordre de grandeur du diamètre et le comparer à λ : répondre « oui » sans cette comparaison ne rapporte rien.

COMPRENDRE
L'écart Doppler vaut ici $f_E - f_R = 2{,}4\times10^{9}\times10^{-8} = 24$ Hz, sur 2,4 GHz : il ne gêne pas la liaison. La vitesse « de l'ordre de 3 m/s » ne permet qu'un chiffre significatif.

MÉTHODE
Interférences : retard multiple de T (ou $\delta = k\lambda$), ondes en phase, constructives ; retard égal à un nombre impair de demi-périodes, opposition de phase, destructives. Pour trier des propositions, tester $k = 0$, 1, 2.

À LA CALCULATRICE



2.1 **a.** À partir des courbes, établir l'expression $v_z(t)$ de la coordonnée verticale du vecteur vitesse. **b.** Comparer qualitativement les valeurs du poids $\vec{P}$ et de la poussée $\vec{F}$ lors du décollage. **c.** Calculer la valeur de la force de poussée. **d.** Quelle masse maximale de webcam m_w le drone peut-il emporter pour que le décollage reste possible ?

Données utiles $m = 110$ g ; $g = 9{,}8\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$; courbe 1 : $z(t) = 1{,}0 \times t^2$; courbe 2 : $a_z = 2{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (constante)

a. La courbe 1 est modélisée par $z(t) = 1{,}0 \times t^2$. Or $v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$, donc $v_z(t) = 2 \times 1{,}0 \times t$.

Vérification avec la courbe 2 : $a_z = \dfrac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = 2{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, valeur constante bien lue sur le graphique.

$v_z(t) = 2{,}0 \times t$ (avec v_z en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et t en s)

b. Système : le drone (masse m constante). Référentiel : terrestre, supposé galiléen. Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}$.

En projection sur l'axe (Oz) orienté vers le haut : $-P + F = m\,a_z$. Comme $a_z > 0$, on a $F - P > 0$.

$F > P$: la poussée l'emporte sur le poids.

c. $F = m\,a_z + P = m\,(a_z + g)$

$$F = 0{,}110 \times (2{,}0 + 9{,}8)$$

$F = 1{,}3$ N

d. La poussée garde la même valeur. Avec la webcam, le décollage reste possible tant que la poussée dépasse le poids total : $F > (m + m_w)\,g$, soit

$$m_w < \frac{F}{g} - m = \frac{m\,a_z}{g} = \frac{0{,}110 \times 2{,}0}{9{,}8} = 0{,}022\ \text{kg}$$

$m_{w,\max} \approx 0{,}022$ kg, soit environ 22 g

PIÈGE

Convertir la masse : 110 g = 0,110 kg. Écrire $F = m\,a_z$ en oubliant le poids donne 0,22 N, valeur inférieure au poids (1,1 N) : le drone ne décollerait pas.

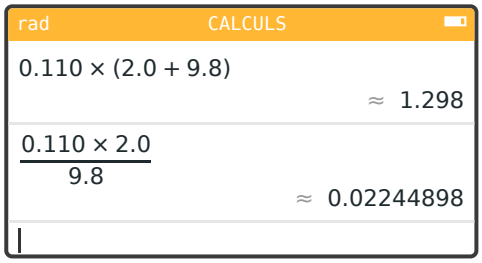
COMPRENDRE

Remplacer F par $m\,(a_z + g)$ avant le calcul évite de réutiliser la valeur arrondie 1,3 N, qui donnerait 23 g. Deux chiffres significatifs, comme a_z et g.

MÉTHODE

Pour obtenir une vitesse à partir d'un graphique modélisé, dériver l'équation de $z(t)$; contrôler ensuite en dérivant de nouveau, ce qui doit redonner l'accélération lue sur l'autre courbe.

À LA CALCULATRICE



2.2 **a.** Proposer une schématisation légendée de la situation. **b.** Établir les équations horaires $x(t) = v_0 \times t$ et $z(t) = -\frac{1}{2}\,g \times t^2 + h$. **c.** Déterminer le temps dont dispose l'opérateur avant que le drone ne touche le sol. **d.** Le drone tombe-t-il dans la piscine si la communication n'est pas rétablie ?

Données utiles $h = 7{,}0$ m ; $v_0 = 4{,}0$ m · s^{-1} ; $d = 20$ m ; $L = 5$ m ; $g = 9{,}8$ m · s^{-2}

a. Voir le schéma : repère (O ; x, z) avec O au sol, à la verticale du drone à $t = 0$, axe (Ox) horizontal dirigé vers la piscine, axe (Oz) vertical vers le haut. Y figurent G à l'altitude h, le vecteur $\vec{v}_0$ horizontal, le champ $\vec{g}$, la distance d et la largeur L.

b. Système {drone}, référentiel terrestre supposé galiléen. En chute libre, la seule force est le poids. Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$:

$$a_x = 0 \qquad a_z = -g$$

On intègre ($\vec{a} = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$), avec à $t = 0$ une vitesse horizontale : $v_x(0) = v_0$ et $v_z(0) = 0$.

$$v_x = v_0 \qquad v_z = -g\,t$$

On intègre encore ($\vec{v} = \frac{\mathrm{d}\overrightarrow{OG}}{\mathrm{d}t}$), avec à $t = 0$ la position $x(0) = 0$ et $z(0) = h$.

$$x(t) = v_0 \times t \text{ et } z(t) = -\frac{1}{2}\,g \times t^2 + h$$

c. Au sol l'altitude est nulle : on cherche la date t_S telle que $z(t_S) = 0$, soit $\frac{1}{2}\,g\,t_S^2 = h$. On garde la solution positive :

$$t_S = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 7{,}0}{9{,}8}}$$

$t_S = 1{,}2$ s : l'opérateur dispose d'environ 1,2 s.

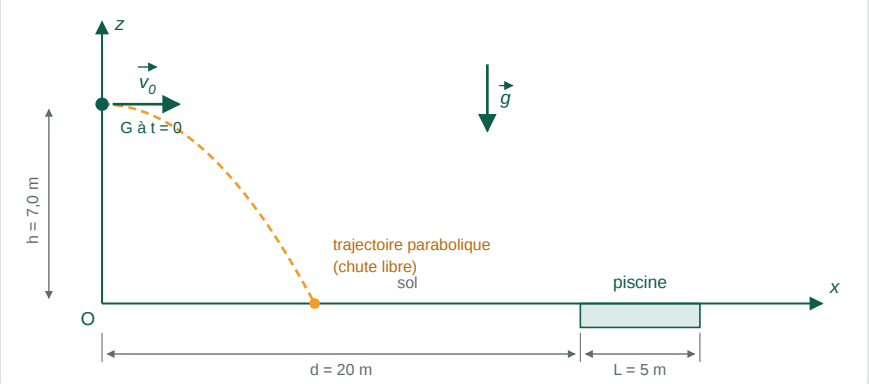
d. Abscisse du point de chute : $x_S = v_0 \times t_S = 4{,}0 \times \sqrt{\frac{2 \times 7{,}0}{9{,}8}} = 4{,}8$ m.

La piscine s'étend de $x = d = 20$ m à $x = d + L = 25$ m.

$x_S = 4{,}8$ m < 20 m : le drone ne tombe pas dans la piscine, il touche le sol environ 15 m avant.

PIÈGE
Chaque primitive apporte une constante, à déterminer avec les conditions initiales. Oublier $z(0) = h$ donne $z = -\frac{1}{2}\,g\,t^2$, et l'équation $z = 0$ n'a plus de sens.

COMPRENDRE
La masse se simplifie : la durée de chute ne dépend ni de la masse ni de v_0, seulement de h et de g. La vitesse horizontale fixe uniquement la distance parcourue pendant cette durée.



2.2 · Schéma de la situation à $t = 0$, sans souci d'échelle (en orange : la trajectoire étudiée ensuite)

À LA CALCULATRICE

