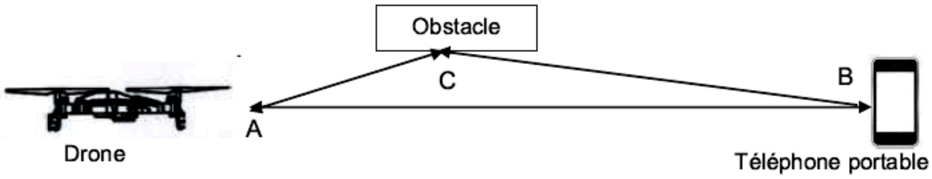
PONDICHERY 2016. Correction. LES DRONES GRAND PUBLIC (11 points)

Partie 1 : Connexion WIFI

Schéma : exemple de chemins multiples

Les signaux transmis en WiFi se dégradent avec la distance et avec les obstacles, ce qui limite la portée et le débit de la liaison.



L'objectif de cette partie : mettre en évidence des phénomènes physiques qui influencent la qualité de la transmission des informations en WiFi.

1.1. Transmission d'informations avec le protocole standard IEEE 802.11g

Un drone est piloté à l'aide d'un téléphone portable. Il est équipé d'une **webcam de résolution 1280 x 720 pixels filmant à 30 images par seconde.** Le codage de chaque image est de 24 bits par pixel. Il envoie ses informations au téléphone portable via le réseau WiFi.

1.1.a. Identifier les éléments de la chaîne de transmission des images.

Emetteur	Canal de transmission	Type de transmission	Nature du signal transmis	Récepteur
Drone	Air	Libre	Onde électromagnétique	Téléphone portable

Lorsque le drone s'éloigne du téléphone, le signal électromagnétique reçu par celui-ci s'affaiblit.

1.1.b. Calculer l'atténuation du signal lorsque le drone se situe à 10 m du téléphone portable.

L'atténuation est donnée par la relation : $A = 40 + 20\log(d)$ (voir énoncé). A.N. : $A = 40 + 20\log(10)$ = **60 dB**

1.1.c. En déduire la puissance maximale que peut recevoir le téléphone lorsqu'il est situé à 10 m du drone.

Par ailleurs l'atténuation est définie par $A = 10\log\left(\frac{P_e}{P_r}\right)$. On tire P_r de cette expression : $\frac{A}{10} = \log\left(\frac{P_e}{P_r}\right)$ soit $\frac{P_e}{P_r} = 10^{\frac{A}{10}}$ soit $\frac{P_r}{P_e} = 10^{\frac{-A}{10}}$ soit finalement **$P_r = P_e. 10^{-A/10}$**. Le tableau des caractéristiques du standard IEEE 802.11g indique une puissance maximale d'émission égale à 100 mW et on a établi précédemment que A = 60 dB. Ainsi $P_r = 100\times10^{-60/10}$ = **$1{,}0\times10^{-4}$ mW**

1.1.d. Le débit théorique maximal de la connexion WiFi permet-il de visualiser la vidéo en direct sur le téléphone portable ?

Le codage de chaque image est de **24 bits par pixel**. Or la définition de l'image est **1280 * 720 pixels** soit un nombre de bits dans par image : N = définition * nombre bits/pixel = **1280 * 720 * 24 =** 22 118 400 **bits pour chaque image.**

- Ainsi chaque image nécessite N bits : $N = 1280 \times 720 \times 24$ bits
- Pour 30 images par seconde, il faut un débit $D = 30.N$ soit $D = 1280 \times 720 \times 24 \times 30$ = 663 552 000 bits = arrondi à $6{,}64\times10^{8}$ bits
  Comme 1Mbits = 10^{6} bits, alors $D = 6{,}64\times10^{8} / 10^{6}$ = **664 Mbits/s.**
  Ce débit étant largement supérieur au débit maximal théorique de 54 Mbits/s, il n'est pas possible de visualiser la vidéo en direct.

1.2. Les problèmes de transmission en WiFi

On aborde les problèmes de transmission entre le drone et le téléphone portable lorsque le drone se déplace à une vitesse de croisière de l'ordre de 3 m.s^{-1}.

1.2.a. Comparer la fréquence de l'onde radio émise par le drone à la fréquence de l'onde reçue par le téléphone portable lorsque le drone s'éloigne. Estimer la variation relative de la fréquence.

1.2.a. Lorsque le drone s'éloigne la fréquence reçue par le téléphone portable est inférieure à la fréquence émise par le drone. (Remarque : Penser à l'ambulance dont le son de la sirène est plus grave lors de son éloignement).

On utilise la formule fournie : $f_R - f_E = \pm\frac{v}{c}.f_E$. Donc la variation de fréquence est $f_R - f_E = -\frac{v}{c}.f_E$ avec f_E = *2,4 GHz (tableau).*

Donc : $f_R - f_E = -\frac{v}{c}.f_E = -\frac{3{,}0}{3{,}0.10^{8}} * 2{,}4 = -2{,}4*10^{-8}$ GHz. Donc $f_R = fe - 2{,}4*10^{-8}$ GHz = 2,4 GHz - $2{,}4*10^{-8}$ GHz ≈ 2,4 GHz.

Variation relative de la fréquence : $\frac{|f_R - f_E|}{f_E} = \frac{|-\frac{v}{c}f_E|}{f_E} = \frac{v}{c} = \frac{3{,}0}{3{,}0.10^{8}} = 1.10^{-8}$ soit une variation extrêmement faible

1.2.b. Calculer la longueur d'onde des signaux émis en WiFi.

Ce sont des ondes électromagnétiques qui se déplacent donc à la célérité c. La fréquence des signaux émis étant 2,4 GHz, on a donc $\lambda = c.T = \frac{c}{\nu} = \frac{3{,}0.10^{8}}{2{,}4.10^{9}}$ = 0,125 m arrondi à 0,13 m. Donc λ = 0,13 m = 13 cm.

1.2.c. Un tronc d'arbre placé sur le trajet des ondes WiFi est-il susceptible de diffracter ces ondes ? Justifier.

Le phénomène de diffraction a lieu si les dimensions de l'obstacle (ou d'une ouverture) est ≤ λ et il est d'autant plus important si la dimension de l'obstacle « a » est faible.

Si on considère que le tronc d'arbre a un diamètre de l'ordre de 10 cm, **alors la diffraction se produit** de façon sensible.

1.2.d. La superposition d'ondes ayant parcouru des chemins différents peut provoquer des interférences. À quelle condition obtient-on des interférences destructives ? Dans ce cas, quelle sera la conséquence sur la valeur de la puissance reçue ?

Les interférences sont destructives lorsque la différence de marche (« de chemins ») vaut : $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ où k est un entier relatif.. Dans ce cas la puissance reçue est fortement réduite.

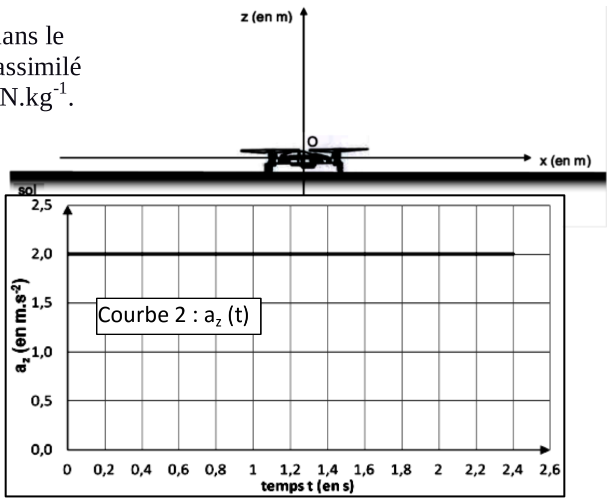
1.2.e. τ_1 et τ_2 représentent respectivement les durées du trajet de l'onde A-C-B et A-B entre le drone et le téléphone. On définit la durée $\Delta t = \tau_1 - \tau_2$. Parmi les 4 valeurs de Δt suivantes, indiquer celle(s) qui conduit (conduisent) à des interférences destructives. Justifier votre réponse. **T/2 ; T ; k.T ; k. T + T/2 ; k. T/2 avec k est un entier**

- Les interférences sont destructives lorsque $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$. On utilise le fait que $\lambda = c.T$. Donc $\delta = (2k+1)\frac{c.T}{2}$ = **$k.c.T + \frac{c.T}{2}$**
- Appelons d_1 le trajet A-C-B et d_2 le trajet AB. On a **$\delta = d_1 - d_2$.** Donc $\Delta t = \frac{\delta}{c}$. On a **$\Delta t = \tau_1 - \tau_2 = \frac{d_1}{c} - \frac{d_2}{c} = \frac{1}{c}(d_1 - d_2)$**
- On remplace : **$\Delta t = \frac{1}{c}.\delta = \frac{1}{c}(k.c.T + \frac{c.T}{2})$.** Donc : **$\Delta t = k.T + \frac{T}{2}$.**
- On compare alors : $\boxed{\Delta t = k.T + \frac{T}{2}}$ **aux valeurs proposées dans l'énoncé :**

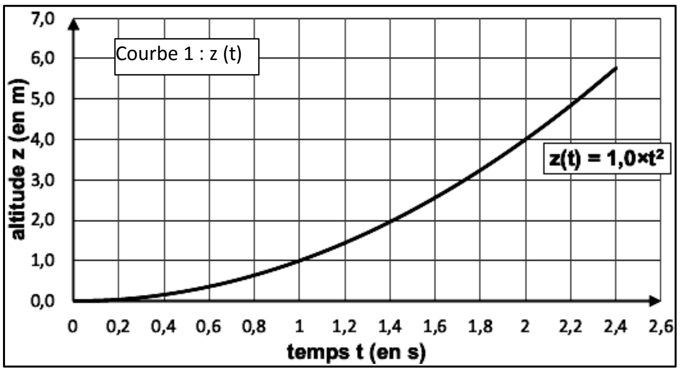
2 valeurs sont donc retenues : Si k = 0, on a $\Delta t = \frac{T}{2}$: valeur retenue. L'autre valeur retenue est $\Delta t = k.T + \frac{T}{2}$.

Partie 2 : Étude dynamique du vol d'un drone

Dans cette partie, on étudie le mouvement du drone dépourvu de webcam dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Le drone étudié, de masse 110 g, est assimilé à un point matériel noté G. Valeur du champ de pesanteur terrestre $g = 9{,}8\ N.kg^{-1}$.



2.1. Estimation de la valeur de la force de poussée



2.1.a. À partir de ces courbes, établir l'expression v_z(t) de la coordonnée suivant l'axe vertical (Oz) du vecteur vitesse du drone. On suppose que seuls le poids $\vec{P}$ et la force de poussée $\vec{F}$ agissent sur le drone lors de la phase de décollage vertical.

Le courbe 2 montre que a_z = constante = 2,0 m.s^{-2}. Or $a_z = \frac{dv_z}{dt}$ donc v_z est une primitive de az. On a donc $v_z = az.t + C1$.

Or à la date t = 0, la vitesse initiale du drone est nulle donc $C_1 = 0$. On obtient **$v_z(t) = 2{,}0.t$.**

Remarque : on aurait pu utiliser la courbe 1 : $z(t) = 1{,}0.t^2$. On a $v_z = \frac{dz}{dt} = 2{,}0$ t.

2.1.b. Comparer qualitativement les valeurs des forces $\vec{P}$ et $\vec{F}$ lors du décollage. Justifier votre réponse.

La deuxième loi de Newton, appliquée au système {drone} de masse *m* constante, dans le référentiel terrestre donne

$\Sigma\vec{f_i} = m.\vec{a}$ soit $\vec{P} + \vec{F} = m.\vec{a}$

Par projection suivant l'axe vertical Oz orienté vers le haut : $P_Z + F_Z = m.a_z$ soit $-P + F = m.a_z$

Comme $a_z > 0$ alors $-P + F > 0$, soit $F > P$.

2.1.c. Calculer la valeur de la force de poussée lors du décollage.

On reprend $-P + F = m.a_z$ donc : $F = m.a_z + P$ soit $F = m.a_z + m.g = m.(a_z + g)$.

A.N. : **F =** 0,110 *(2,0 + 9,8) = 1,298 N = **1,3 N**

2.1.d. On souhaite fixer une webcam de masse m_w, sur ce drone. Quelle serait, en théorie, la masse maximale de cette webcam au-delà de laquelle le décollage ne serait plus possible ? (m : masse du drone).

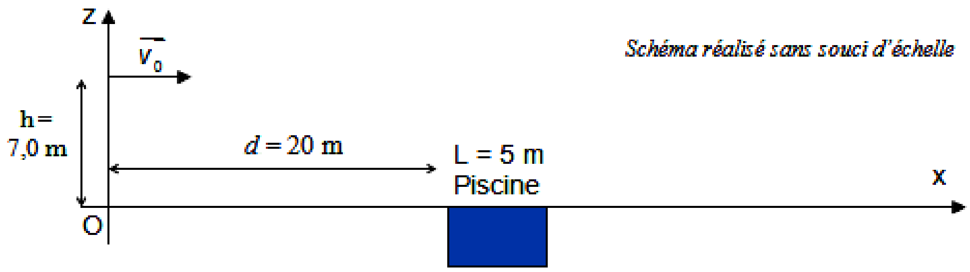
Le décollage n'est plus possible si la force poids est supérieure à la force de poussée dont on considère que la valeur reste inchangée. $P > F$ soit $(m + m_w).g > F$ soit $m_w.g > F - m.g$. soit $m_w > \frac{F}{g} - m$ A.N. : $m_w > \frac{1{,}3}{9{,}8} - 0{,}110$ soit $m_w >$ 0,13-0,11

Si $m_w > 0{,}02$ kg alors le décollage n'est plus possible.

2.2. Conséquence d'une perte de communication sur le vol du drone

2.2.a. Proposer une schématisation légendée de la situation.

$v_0 = 4{,}0\ m.s^{-1}$. On considère que le drone est en chute libre alors qu'il est à la verticale d'un point situé à une distance *d* = 20 m de la piscine de largeur L = 5 m.



2.2.b. Etablir les équations horaires du mouvement du drone suivantes : $x(t) = v_o * t$ et $z(t) = -\frac{1}{2}g.t^2 + h$

2ème loi de Newton : $\Sigma\vec{f_i} = m.\vec{a}$, appliquée au système {drone} de masse *m* constante, dans le référentiel terrestre donne $\vec{P} = m.\vec{a}$

soit : $m.\vec{g} = m.\vec{a}$ soit $\vec{a} = \vec{g}$: chute libre. On projette dans le système d'axe : $\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$ Comme $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ alors $\vec{v} \begin{cases} v_x = C_1 \\ v_z = -g.t + C_2 \end{cases}$

où C_1 et C_2 sont des constantes qui dépendent des conditions initiales. À la date t = 0 s, le vecteur vitesse a pour coordonnées

$\vec{v_0} \begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0z} = 0 \end{cases}$ donc $C_1 = v_0$ et $C_2 = 0$. Alors : $\vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_z = -g.t \end{cases}$ Soit G le centre d'inertie du drone, le vecteur position est tel que $v = \frac{d\vec{OG}}{dt}$ $\vec{OG} \begin{cases} x = v_0.t + C_3 \\ z = -\frac{1}{2}.g.t^2 + C_4 \end{cases}$

où C_3 et C_4 sont des constantes qui dépendent des conditions initiales. À la date *t* = 0, le drone est situé en un point d'abscisse $x_0 = 0$ donc $C_3 = 0$, et d'ordonnée $z_0 = h$ donc $C_4 = h$.

On retrouve les équations horaires du mouvement proposées : $\vec{OG} \begin{cases} x = v_0.t \\ z = -\frac{1}{2}.g.t^2 + h \end{cases}$

2.2.c. Déterminer le temps dont dispose l'opérateur pour rétablir la communication avant que le drone ne touche le sol.

Le drone touche le sol à la date t_S lorsque *z* = 0. On résout l'équation $-\frac{1}{2}.g.t_S{}^2 + h = 0$ soit $\frac{1}{2}.g.t_S{}^2 = h$ soit $\mathbf{t_s} = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2*7{,}0}{9{,}8}} = 1{,}2$ s.

2.2.d. Le drone tombe-t-il dans la piscine si la communication n'est pas rétablie ?

Déterminons l'abscisse x_S du drone lorsqu'il touche le sol à la date t_S. $x_S = v_0.t_S$ A.N. : $x_S = 4{,}0 \times 1{,}2 =$ **4,8 m**

Le drone n'est qu'à 4,8 m de l'abscisse où la communication a été rompue, il est encore loin de la piscine située à 20 m de ce point.