Service et réception au volley-ball
(Bac S – Métropole - juin 2018)

Corrigé réalisé par B. Louchart, professeur de Physique-Chimie

1. Mesure de la vitesse initiale du ballon

1.1. La longueur d'onde des ondes électromagnétiques utilisées est :

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} = \frac{3,00\times10^{8}}{3,47\times10^{10}} = 8,65\times10^{-3}\ \text{m}$$

D'après les données, on en déduit que ces ondes appartiennent au domaine des micro-ondes.

1.2. Le phénomène à l'origine de la différence de fréquence entre les ondes émise et reçue par le radar portatif est l'effet Doppler.

1.3. Le ballon se rapprochant du radar, la fréquence de l'onde reçue est supérieure à celle de l'onde émise.

1.4. $|\,\Delta f\,| = \dfrac{2v_0 f_{\text{émise}}}{c}$, donc $v_0 = \dfrac{c\,|\Delta f|}{2f_{\text{émise}}} = \dfrac{3,00\times10^{8}\times4,86\times10^{3}}{2\times3,47\times10^{10}} = 21,0\ \text{m.s}^{-1}$

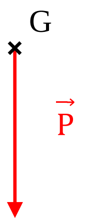
$v_0 = 21,0\ \text{m.s}^{-1} = 21,0\times3,6\ \text{km.h}^{-1} = 75,6\ \text{km.h}^{-1}$.
Ce résultat est en accord avec la valeur affichée sur l'écran du radar ($76\ \text{km.h}^{-1}$).

2. Validité du service

2.1.

- système : {ballon}
  référentiel : terrestre, considéré galiléen

- bilan des forces extérieures appliquées au système :
  $\vec{P}$ son poids
  On néglige l'action de l'air sur le ballon.



- D'après la 2$^{\text{ème}}$ loi de Newton, dans un référentiel galiléen, $\Sigma\,\vec{F}_{ext} = \dfrac{d\vec{p}}{dt}$

  Or : $\Sigma\,\vec{F}_{ext} = \vec{P}$

$$\text{et :}\quad \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\,\vec{v}_G)}{dt} = m\,\frac{d\vec{v}_G}{dt} = m\,\vec{a}_G$$

car m ne dépend pas de t

$$\Rightarrow\ \vec{P} = m\vec{a}_G$$

$$\Rightarrow\ m\vec{g} = m\vec{a}_G$$

$$\Rightarrow\ \vec{a}_G = \vec{g}$$

- $\vec{a}_G \left| \begin{array}{l} a_x \\ a_y \end{array} \right. = \vec{g} \left| \begin{array}{l} 0 \\ -g \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad \vec{a}_G \left| \begin{array}{l} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{array} \right.$

2.2.

- $\vec{a}_G = \dfrac{d\vec{v}_G}{dt} \quad \Rightarrow \quad \vec{v}_G \left| \begin{array}{l} v_x = C_1 \\ v_y = -gt + C_2 \end{array} \right.$

Or $\vec{v}_G\ (t = 0\ s) \left| \begin{array}{l} C_1 \\ C_2 \end{array} \right. = \vec{v}_0 \left| \begin{array}{l} v_0 \\ 0 \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} C_1 = v_0 \\ C_2 = 0 \end{array} \right.$

Donc $\vec{v}_G\ (t) \left| \begin{array}{l} v_x = v_0 \\ v_y = -gt \end{array} \right.$

- $\vec{v}_G = \dfrac{d\overrightarrow{OG}}{dt} \quad \Rightarrow \quad \overrightarrow{OG} \left| \begin{array}{l} x = v_0\,t + C_3 \\ y = -\dfrac{1}{2}gt^2 + C_4 \end{array} \right.$

Or $\overrightarrow{OG}\ (t=0\ s) \left| \begin{array}{l} C_3 \\ C_4 \end{array} \right. = \overrightarrow{OB_0} \left| \begin{array}{l} 0 \\ h \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} C_3 = 0 \\ C_4 = h \end{array} \right.$

Donc $\overrightarrow{OG}\ (t) \left| \begin{array}{l} x = v_0\,t \\ y = -\dfrac{1}{2}gt^2 + h \end{array} \right.$

- $x = v_0 t \Rightarrow t = \dfrac{x}{v_0}$

$\Rightarrow y = -\dfrac{1}{2} g \dfrac{x^2}{v_0^2} + h$

$\Rightarrow y = -\dfrac{g}{2v_0^2} x^2 + h$

1.4. On note t_1 l'instant où le ballon touche le sol et x_1 l'abscisse du centre d'inertie du ballon à cet instant.

Le ballon ayant un rayon r = 10 cm, on a : $y(t_1) = r$

$\Rightarrow -\dfrac{g}{2v_0^2} x_1^2 + h = r$

$\Rightarrow \dfrac{g}{2v_0^2} x_1^2 = h - r$

$\Rightarrow x_1^2 = \dfrac{2v_0^2(h-r)}{g}$

$\Rightarrow x_1 = v_0 \times \sqrt{\dfrac{2(h-r)}{g}} = 21{,}0 \times \sqrt{\dfrac{2\times(3{,}5-0{,}10)}{9{,}81}} = 17{,}5 \text{ m}$

Le ballon touche donc le sol avant la ligne de fond, qui se trouve, elle, à 18,0 m.

2.4.1. $E_c = \dfrac{1}{2} mv^2$

$E_{pp} = mgy$

$E_m = E_c + E_p = E_c + E_{pp} = \dfrac{1}{2} mv^2 + mgy$

Lors de l'étude :

- l'altitude y diminue, donc E_{pp} diminue également : la courbe $E_{pp} = f(t)$ est ainsi la courbe n°1
- la vitesse v augmente, donc E_c augmente aussi : la courbe $E_c = f(t)$ est donc la courbe n°2

Par élimination, la courbe $E_m = f(t)$ est la courbe n°3.

2.4.2. Dans cette étude, la seule force extérieure exercée sur le ballon dont on tient compte est son poids. Comme le poids est une force conservative, il y a conservation de l'énergie mécanique.

$E_m(C) = E_m(B_0)$, en notant C la position du centre d'inertie du ballon quand celui-ci touche le sol.

$\Rightarrow \dfrac{1}{2} m v_C^2 + mgy_C = \dfrac{1}{2} m v_{B_0}^2 + mg\, y_{B_0}$

$\Rightarrow \dfrac{1}{2} m v_{sol}^2 + mgr = \dfrac{1}{2} m v_0^2 + mgh$

$\Rightarrow v_{sol}^2 + 2gr = v_0^2 + 2gh$

$\Rightarrow v_{sol}^2 = v_0^2 + 2g(h-r)$

$\Rightarrow v_{sol} = \sqrt{v_0^2 + 2g(h-r)} = \sqrt{21{,}0^2 + 2\times 9{,}81 \times (3{,}5-0{,}10)} = 23 \text{ m.s}^{-1}$

3. Réception du ballon par un joueur de l'équipe adverse

- En 1ère approximation, on considérera que le joueur réceptionne le ballon en bas de celui-ci *(et non légèrement plus haut et sur le côté comme on le voit sur la photo).*
  L'altitude du centre d'inertie G du ballon est donc, dans ces conditions, $y_2 = y_R + r = 80 + 10 = 90$ cm.
  Calculons l'instant t_2 où le ballon arrive à cette altitude y_2 .
  $$y_2 = -\frac{1}{2} g t_2^2 + h$$
  $$\Rightarrow \quad \frac{1}{2} g t_2^2 = h - y_2$$
  $$\Rightarrow \quad t_2^2 = \frac{2\ (h - y_2)}{g}$$
  $$\Rightarrow \quad t_2 = \sqrt{\frac{2\ (h - y_2)}{g}} = \sqrt{\frac{2\ (3{,}5 - 0{,}9)}{9{,}81}} = 0{,}73 \text{ s}$$

- L'abscisse x_2 du centre d'inertie est alors :
  $x_2 = v_0\, t_2 = 21{,}0 \times 0{,}73 = 15{,}3$ m

- Le réceptionneur doit alors parcourir une distance $d = L - x_2$ en $\Delta t = t_2$
  Sa vitesse moyenne doit donc être :
  $$v_m = \frac{d}{\Delta t} = \frac{L - x_2}{t_2} = \frac{18{,}0 - 15{,}3}{0{,}73} = 3{,}7 \text{ m.s}^{-1} = 13 \text{ km.h}^{-1}$$

  Il semble donc tout à fait réaliste que le joueur adverse puisse réceptionner à temps le ballon.