Comprendre les nuages
(Bac Spécialité Physique-Chimie - Liban - mars 2023)

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

A. Nuage et précipitations

1. Calculons la masse de la gouttelette :

$$m = \rho_{eau} V = \rho_{eau} \times \frac{4}{3}\pi r^3 = 1000 \times \frac{4}{3}\pi \times (10\times10^{-6})^3 = 4{,}2\times10^{-12}\ m^3$$

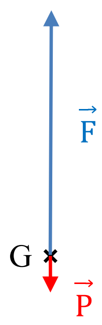
On en déduit son poids :
$P = mg = 4{,}2\times10^{-12} \times 9{,}8 = 4{,}1\times10^{-11}$ N

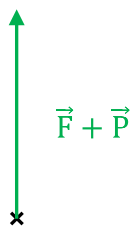
2. $F = k\eta r v = 18{,}8\times15\times10^{-6}\times10\times10^{-6}\times0{,}10 = 2{,}8\times10^{-10}$ N

3.

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

- bilan des forces extérieures appliquées au système :
  $\vec{P}$ son poids
  $\vec{F}$ la force exercée par l'air





- La résultante des forces exercées sur la gouttelette est donc :
  $\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{P} + \vec{F}$, qui est verticale et vers le haut

  La gouttelette étant initialement immobile, on en déduit qu'elle va monter.

4. Pour que la gouttelette tombe dans ces conditions, il faut que la résultante soit vers le bas, donc que P > F

$\Rightarrow$ que $mg > F$

$\Rightarrow$ que $\rho_{eau} \times \frac{4}{3}\pi r^3 \times g > k\eta r v$

$\Rightarrow$ que $r^2 > \dfrac{3k\eta v}{4\pi g \rho_{eau}}$

$\Rightarrow$ que $r > \sqrt{\dfrac{3k\eta v}{4\pi g \rho_{eau}}}$

Ainsi, pour que la gouttelette tombe, il faut qu'elle ait un rayon minimum :

$$r_{min} = \sqrt{\frac{3k\eta v}{4\pi g \rho_{eau}}} = \sqrt{\frac{3\times 18,8\times 15\times 10^{-6}\times 0,10}{4\pi\times 9,8\times 1000}} = 2,6\times 10^{-5}\ \text{m} = 26\ \mu\text{m}$$

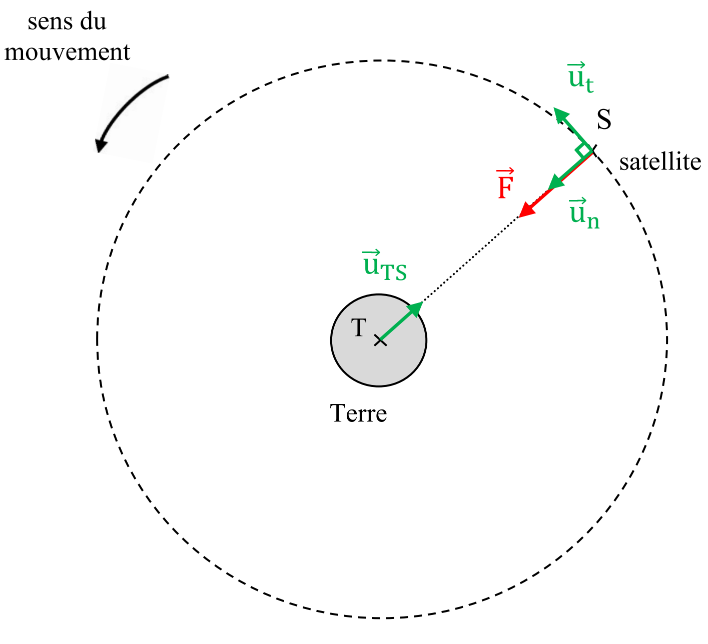
B. Earthcare, un satellite pour étudier les nuages

5. $\vec{F}_{T/S} = -\dfrac{GM_TM_S}{d_{TS}^2}\,\vec{u}_{TS} = \dfrac{GM_TM_S}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_n$ car $\vec{u}_{TS} = -\,\vec{u}_n$ *(cf. schéma ci-dessous)*

6.

- système : {satellite}
  référentiel : géocentrique, considéré galiléen

- bilan des forces extérieures appliquées au système :
  force gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite : $\vec{F}_{T/S} = \dfrac{GM_TM_S}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_n$
  On néglige les forces gravitationnelles dues aux autres astres.



D'après la 2[ème] loi de Newton, $\Sigma\vec{F}_{ext} = M_S\,\vec{a}_S$

car le référentiel d'étude est considéré galiléen et la masse du système est constante.

$\Rightarrow \vec{F}_{T/S} = M_S\,\vec{a}_S \Rightarrow M_S\,\vec{a}_S = \dfrac{GM_TM_S}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_n$

$$\Rightarrow \quad \vec{a}_S = \frac{GM_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_n$$

6. Dans le cas d'un point S ayant un mouvement circulaire de rayon ($R_T + h$), $\vec{a}_S = \frac{dv}{dt}\,\vec{u}_t + \frac{v^2}{R_T+h}\,\vec{u}_n$

Or d'après la question précédente, $\vec{a}_S = \frac{GM_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_n \Rightarrow \vec{a}_S = 0\,\vec{u}_t + \frac{GM_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_n$

Par identification, on obtient :

$$\begin{cases} \dfrac{dv}{dt} = 0 & \textit{(1)} \\[2ex] \dfrac{v^2}{R_T+h} = \dfrac{GM_T}{(R_T+h)^2} & \textit{(2)} \end{cases}$$

D'après l'équation (1), $\frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = \text{cte}$: le mouvement est uniforme

7. D'après l'équation (2), $\frac{v^2}{R_T+h} = \frac{GM_T}{(R_T+h)^2}$

$$\Rightarrow \quad v^2 = \frac{GM_T}{R_T+h}$$

$$\Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T+h}}$$

8. La période de révolution T du satellite est la durée qu'il faut pour qu'il effectue 1 tour sur sa trajectoire autour de la Terre.
S parcourt, à vitesse constante, la distance $\ell = 2\pi\,(R_T + h)$ pendant une durée $\Delta t = T$

$$\Rightarrow \quad v = \frac{\ell}{\Delta t} = \frac{2\pi\,(R_T+h)}{T}$$

$$\Rightarrow \quad T = \frac{2\pi\,(R_T+h)}{v} = \frac{2\pi\,(R_T+h)}{\sqrt{\dfrac{GM_T}{R_T+h}}} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{GM_T}}$$

9. $T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{GM_T}} = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}37\times10^3\times10^3 + 390\times10^3)^3}{6{,}67\times10^{-11}\times5{,}97\times10^{24}}} = 5{,}53\times10^3\ \text{s}$

Le nombre de tours de la Terre faits par le satellite chaque jour sera donc :

$$N = \frac{1\ \text{jour}}{T} = \frac{24\times3600\ \text{s}}{5{,}53\times10^3\ \text{s}} = 15{,}6$$

C'est donc en accord avec le texte d'introduction ("environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour").

C. Radar profileur de nuage

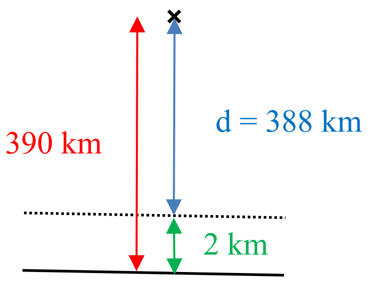
10. Pour obtenir un signal exploitable, la longueur d'onde des ondes électromagnétiques émises par le CPR doit être supérieure à dix fois le diamètre des gouttelettes.

Or :

- ✓ $\lambda = \dfrac{c}{f_e} = \dfrac{3,00\times10^8}{94,05\times10^9} = 3,19\times10^{-3}$ m = 3,19 mm
- ✓ le diamètre des gouttelettes est de l'ordre de 10 à 100 µm, 10 fois le diamètre vaudra donc au maximum 10×100 µm = 1 mm

La condition est respectée, donc les ondes utilisées permettent d'obtenir un signal exploitable.

11.



Remarque :
Sur ce schéma, les échelles ne sont pas respectées.

D'après les données, la distance entre le satellite et le nuage vaut $d = 390 - 2 = 388$ km

Calculons la durée Δt d'un aller-retour des ondes entre le satellite et le nuage (à la célérité c) :

$$c = \frac{2d}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{2d}{c} = \frac{2\times388\times10^3}{3,00\times10^8} = 2,59\times10^{-3}\ \text{s}$$

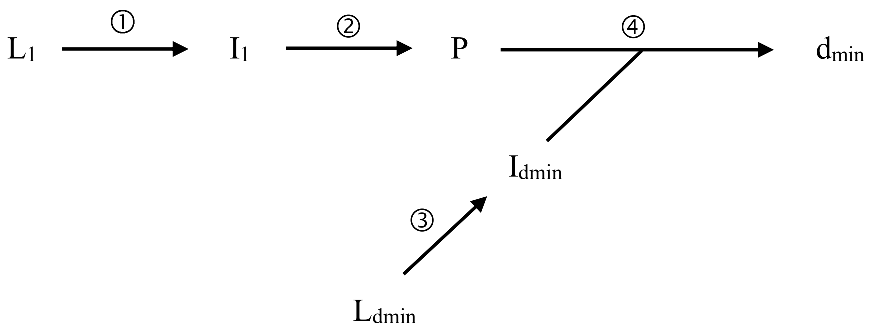
Pendant cette durée, le satellite a parcouru une distance :
$L = v\times\Delta t = 7,5\times10^3 \times 2,59\times10^{-3} = 19$ m, qui est très inférieure à 1 km.

D. Une expérience contestée

12. Le niveau d'intensité sonore à la distance d_1 = 1,0 m vaut L_1 = 160 dB
Calculons la distance d_{min} à laquelle le son ne sera pas gênant, c'est-à-dire quand L_{dmin} = 50 dB

- 1ère méthode :

  Plan de la résolution :



① Calculons l'intensité sonore I_1 à $d_1 = 1{,}0$ m de la source sonore :

$$L_1 = 10 \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \Rightarrow \frac{I_1}{I_0} = 10^{\frac{L_1}{10}} \Rightarrow I_1 = I_0 \times 10^{\frac{L_1}{10}} = 1{,}0\times10^{12} \times 10^{\frac{160}{10}} = 1{,}0\times10^{4}\ \text{W.m}^{-2}$$

② On en déduit la puissance sonore de la source :

$$I_1 = \frac{P}{S_1} \Rightarrow P = I_1 \times S_1 = I_1 \times 4\pi d_1^2 = 1{,}0\times10^{4} \times 4\pi \times 1{,}0^2 = 1{,}3\times10^{5}\ \text{W}$$

③ Déterminons d'autre part l'intensité sonore à la distance d_{min} :

$$I_{dmin} = I_0 \times 10^{\frac{L_{dmin}}{10}} = 1{,}0\times10^{-12} \times 10^{\frac{50}{10}} = 1{,}0\times10^{-7}\ \text{W.m}^{-2}$$

④ On déduit de ces 2 derniers résultats la distance d_{min} :

$$P = I_{dmin} \times 4\pi d_{min}^2 \Rightarrow d_{min}^2 = \frac{P}{4\pi I_{dmin}}$$

$$\Rightarrow d_{min} = \sqrt{\frac{P}{4\pi I_{dmin}}} = \sqrt{\frac{1{,}3\times10^{5}}{4\pi\times1{,}0\times10^{-7}}} = 3{,}2\times10^{5}\ \text{m} = 3{,}2\times10^{2}\ \text{km}$$

- <u>2ème méthode</u> :

$$I = \frac{P}{S} \Rightarrow P = I \times S = I \times 4\pi d^2$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{Pour la distance } d_1,\ P = I_1 \times 4\pi d_1^2 \\ \text{Pour la distance } d_{min},\ P = I_{dmin} \times 4\pi d_{min}^2 \end{array}\right\} \Rightarrow I_{dmin} \times 4\pi d_{min}^2 = I_1 \times 4\pi d_1^2$$

$$\Rightarrow I_{dmin}\, d_{min}^2 = I_1\, d_1^2 \qquad \textit{(équation 1)}$$

$$\text{Or}\quad L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}} \Rightarrow I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

En injectant cette relation dans l'équation 1, on obtient :

$$I_0 \times 10^{\frac{L_{d\,min}}{10}}\, d_{min}^2 = I_0 \times 10^{\frac{L_1}{10}}\, d_1^2$$

$$\Rightarrow d_{min}^2 = d_1^2 \times \frac{10^{\frac{L_1}{10}}}{10^{\frac{L_{d\,min}}{10}}} = d_1^2 \times 10^{\frac{L_1}{10} - \frac{L_{dmin}}{10}} = d_1^2 \times 10^{\frac{L_1 - L_{d\,min}}{10}}$$

$$\Rightarrow d_{min} = d_1 \times \sqrt{10^{\frac{L_1 - L_{d\,min}}{10}}} = 1{,}0 \times \sqrt{10^{\frac{160-50}{10}}} = 3{,}2\times10^{5}\ \text{m} = 3{,}2\times10^{2}\ \text{km}$$

Ainsi, il faut être situé à plus de 320 km de la source sonore pour ne pas être gêné !
Ce qu'affirme le journaliste (les ondes sonores utilisées sont à peine audibles) est donc faux.