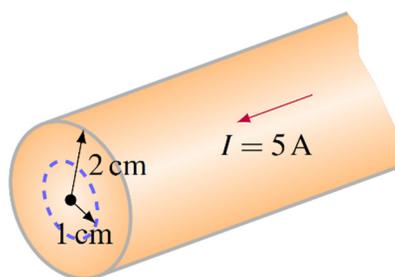


# Solutionnaire du chapitre E2

1. a) La densité de courant dans le fil est

$$\begin{aligned} J &= \frac{I}{\text{aire du fil}} \\ &= \frac{I}{\pi R^2} \\ &= \frac{5A}{\pi \cdot (0,02m)^2} \\ &= 3979 \frac{A}{m^2} \end{aligned}$$

On va maintenant faire une trajectoire centrée sur le centre du fil et qui a un rayon de 1 cm.



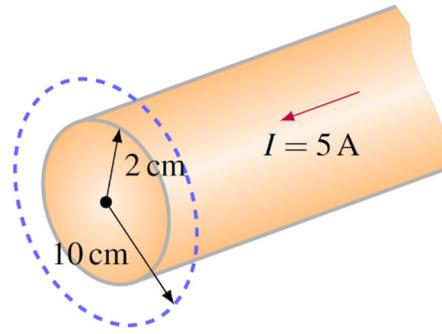
Le courant qui traverse cette trajectoire est

$$\begin{aligned} I_{\text{int}} &= J A_{\text{int}} \\ &= J (\pi r^2) \\ &= 3979 \frac{A}{m^2} \cdot \pi \cdot (0,01m)^2 \\ &= 1,25A \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned} B 2\pi r &= \mu_0 I_{\text{int}} \\ B \cdot 2\pi \cdot 0,01m &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A} \cdot 1,25A \\ B &= 2,5 \times 10^{-5} T \end{aligned}$$

b) On va faire une trajectoire centrée sur le centre du fil et qui a un rayon de 10 cm.



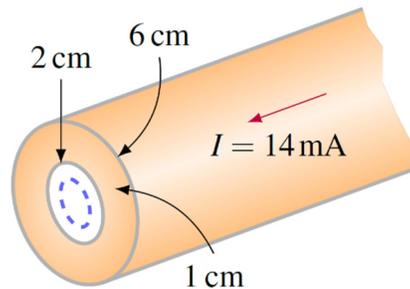
On a donc

$$B2\pi r = \mu_0 I_{\text{int}}$$

$$B \cdot 2\pi \cdot 0,1\text{m} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \cdot 5\text{A}$$

$$B = 1 \times 10^{-5} \text{T}$$

**2.** a) On va faire une trajectoire circulaire de 1 cm de rayon. Cette trajectoire est



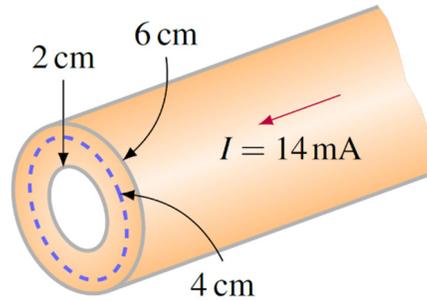
Comme il n'y a pas de courant qui traverse cette trajectoire, on a

$$B2\pi r = \mu_0 I_{\text{int}}$$

$$B \cdot 2\pi \cdot 0,01\text{m} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \cdot 0\text{A}$$

$$B = 0\text{T}$$

b) On va maintenant faire une trajectoire ayant un rayon de 4 cm.



Il n'y a qu'une partie du courant qui passe dans la trajectoire. La densité de courant dans le fil est

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{I}{\text{aire du fil}} \\
 &= \frac{14 \text{ mA}}{\pi \cdot (0,06 \text{ m})^2 - \pi \cdot (0,02 \text{ m})^2} \\
 &= 1,3926 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

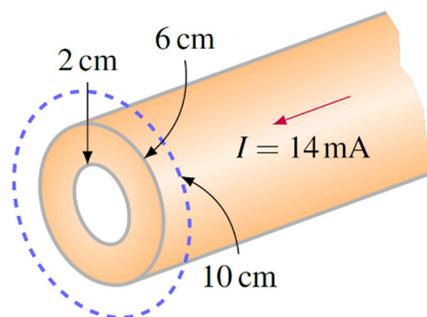
Le courant dans la trajectoire est donc

$$\begin{aligned}
 I_{\text{int}} &= JA_{\text{int}} \\
 &= 1,3926 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cdot (\pi \cdot (0,04 \text{ m})^2 - \pi \cdot (0,02 \text{ m})^2) \\
 &= 5,25 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Le théorème d'Ampère nous donne donc

$$\begin{aligned}
 B2\pi r &= \mu_0 I_{\text{int}} \\
 B \cdot 2\pi \cdot 0,04 \text{ m} &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \cdot 0,00525 \text{ A} \\
 B &= 2,625 \times 10^{-8} \text{ T}
 \end{aligned}$$

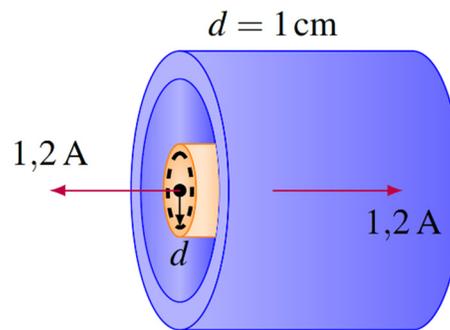
c) On va finalement faire une trajectoire ayant un rayon de 10 cm.



Dans ce cas, le courant passe au complet dans la trajectoire. On a donc

$$\begin{aligned}
 B2\pi r &= \mu_0 I_{\text{int}} \\
 B \cdot 2\pi \cdot 0,1m &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \cdot 0,014A \\
 B &= 2,8 \times 10^{-8} \text{T}
 \end{aligned}$$

**3.** a) On va faire une trajectoire circulaire de 1 cm de rayon. Cette trajectoire est



Il n'y a qu'une partie du courant du fil central qui passe dans la trajectoire. La densité de courant dans le fil central est

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{I}{\text{aire du fil}} \\
 &= \frac{1,2A}{\pi \cdot (0,02m)^2} \\
 &= 954,9 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

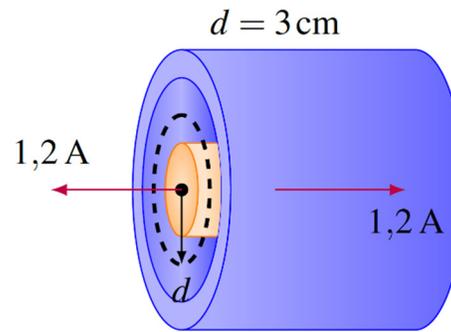
Le courant dans la trajectoire est donc

$$\begin{aligned}
 I_{\text{int}} &= JA_{\text{int}} \\
 &= 954,9 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cdot \pi \cdot (0,01m)^2 \\
 &= 0,3A
 \end{aligned}$$

Le théorème d'Ampère nous donne donc

$$\begin{aligned}
 B2\pi r &= \mu_0 I_{\text{int}} \\
 B \cdot 2\pi \cdot 0,01m &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \cdot 0,3A \\
 B &= 6 \times 10^{-6} \text{T}
 \end{aligned}$$

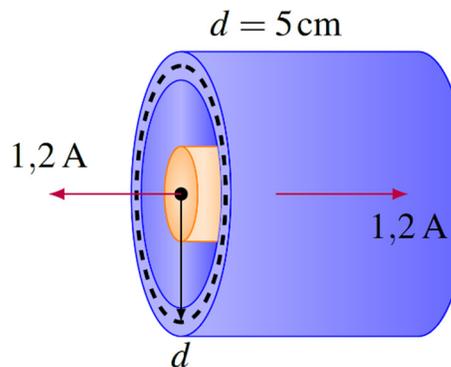
b) On va maintenant faire une trajectoire ayant un rayon de 3 cm.



Dans ce cas, le courant du fil passe au complet dans la trajectoire. On a donc

$$\begin{aligned}
 B2\pi r &= \mu_0 I_{\text{int}} \\
 B \cdot 2\pi \cdot 0,03\text{m} &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \cdot 1,2\text{A} \\
 B &= 8 \times 10^{-6} \text{T}
 \end{aligned}$$

c) On va maintenant faire une trajectoire ayant un rayon de 5 cm.



Tout le courant de la partie centrale passe dans la trajectoire, plus une partie du courant dans le cylindre externe. La densité de courant dans le cylindre externe est

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{I}{\text{aire du fil}} \\
 &= \frac{1,2\text{A}}{\pi \cdot (0,06\text{m})^2 - \pi \cdot (0,04\text{m})^2} \\
 &= 191 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

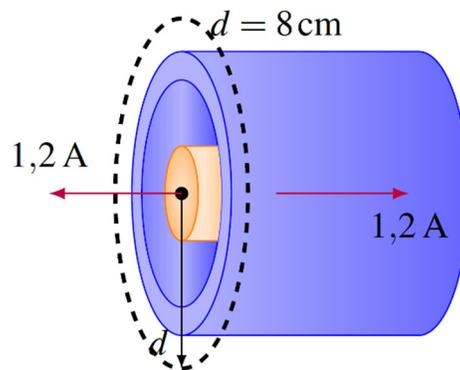
Le courant dans la trajectoire est donc

$$\begin{aligned}
 I_{\text{int}} &= JA_{\text{int}} \\
 &= 191 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cdot \left( \pi \cdot (0,05\text{m})^2 - \pi \cdot (0,04\text{m})^2 \right) \\
 &= 0,54\text{A}
 \end{aligned}$$

Le théorème d'Ampère nous donne donc

$$\begin{aligned}
 B2\pi r &= \mu_0 I_{\text{int}} \\
 B \cdot 2\pi \cdot 0,05\text{m} &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \cdot (1,2\text{A} - 0,54\text{A}) \\
 B &= 2,64 \times 10^{-6} \text{T}
 \end{aligned}$$

d) On va finalement faire une trajectoire ayant un rayon de 8 cm.



Maintenant, les deux courants passent au complet dans la trajectoire. On a donc

$$\begin{aligned}
 B2\pi r &= \mu_0 I_{\text{int}} \\
 B \cdot 2\pi \cdot 0,08\text{m} &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \cdot (1,2\text{A} - 1,2\text{A}) \\
 B &= 0\text{T}
 \end{aligned}$$

**4.** a)

En mettant nos doigts de la main droite dans la direction du champ électrique et en les pliant dans la direction du champ magnétique, notre pouce pointe vers la droite. Cette onde va donc vers la droite.

b) On trouve le champ magnétique avec

$$\begin{aligned}
 E &= Bc \\
 45 \frac{\text{V}}{\text{m}} &= B \cdot 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 B &= 1,5 \times 10^{-7} \text{T}
 \end{aligned}$$

Selon la règle de la main droite, ce champ sort de la page.

**5.** a) On a

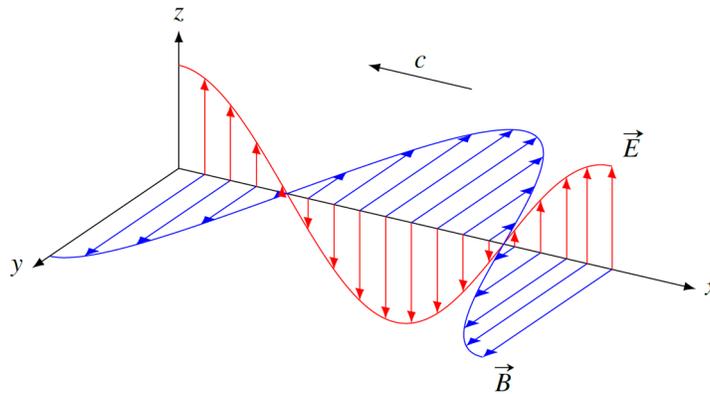
$$c = \frac{\omega}{k}$$

$$3 \times 10^8 \frac{m}{s} = \frac{\omega}{\pi / 50 \frac{rad}{m}}$$

$$\omega = 1,885 \times 10^7 \frac{rad}{s}$$

b) Puisqu'on a un signe positif devant  $\omega$ , cette onde va vers les  $x$  négatifs.

c) À  $t = 0$  s, on a  $E_z = 12 \frac{V}{m} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{50} \frac{rad}{m} x + \frac{\pi}{2}\right)$ . Si l'onde va vers les  $x$  négatifs, on doit avoir l'onde suivante à  $t = 0$  s.



On voit que le champ magnétique a une composante en  $y$ . On a alors

$$E_z = B_y c$$

$$12 \frac{V}{m} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{50} \frac{rad}{m} \cdot x + 1,885 \times 10^7 \frac{rad}{s} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) = B_y \cdot 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

$$B_y = 4 \times 10^{-8} T \cdot \sin\left(\frac{\pi}{50} \frac{rad}{m} \cdot x + 1,885 \times 10^7 \frac{rad}{s} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Note : Si l'onde allait vers les  $x$  positifs, le champ magnétique à  $x = 0$  aurait été vers les  $y$  négatifs alors que le champ électrique aurait été vers les  $z$  positifs. Il y aurait alors eu un signe négatif de plus. On aurait alors eu

$$E_z = -B_y c$$

$$12 \frac{V}{m} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{50} \frac{rad}{m} \cdot x - 1,885 \times 10^7 \frac{rad}{s} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) = -B_y \cdot 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

$$B_y = -4 \times 10^{-8} T \cdot \sin\left(\frac{\pi}{50} \frac{rad}{m} \cdot x - 1,885 \times 10^7 \frac{rad}{s} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$

On aurait pu ensuite camoufler ce signe négatif dans le déphasage pour obtenir

$$B_y = 4 \times 10^{-8} T \cdot \sin\left(\frac{\pi}{50} \frac{\text{rad}}{\text{m}} \cdot x - 1,885 \times 10^7 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot t - \frac{\pi}{2}\right)$$

**6.** On trouve le champ entre les plaques avec

$$\begin{aligned}\Delta V &= Ed \\ 1000V &= E \cdot 0,1m \\ E &= 10\,000 \frac{V}{m}\end{aligned}$$

La densité d'énergie est donc

$$\begin{aligned}u_E &= \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2} \cdot \left(10\,000 \frac{V}{m}\right)^2 \\ &= 4,427 \times 10^{-4} \frac{J}{m^3}\end{aligned}$$

**7.** La densité d'énergie est

$$\begin{aligned}u_E &= \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2} \cdot \left(20\,000 \frac{V}{m}\right)^2 \\ &= 1,771 \times 10^{-3} \frac{J}{m^3}\end{aligned}$$

L'énergie dans le cube est donc

$$\begin{aligned}U &= u_E \cdot \text{volume} \\ &= 1,771 \times 10^{-3} \frac{J}{m^3} \cdot (2m)^3 \\ &= 0,01417J\end{aligned}$$

**8.** a) La densité d'énergie est

$$\begin{aligned}
 u_B &= \frac{1}{2\mu_0} B^2 \\
 &= \frac{1}{2 \cdot 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}} \cdot (0,00005\text{T})^2 \\
 &= 9,947 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

b) L'énergie est

$$\begin{aligned}
 U_B &= u_B \cdot \text{volume} \\
 &= 9,947 \times 10^{-4} \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \cdot (1000\text{m})^3 \\
 &= 994\,718\text{J}
 \end{aligned}$$

**9.** Avec une telle densité d'énergie, le champ doit être

$$\begin{aligned}
 u_B &= \frac{1}{2\mu_0} B^2 \\
 1 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} &= \frac{1}{2 \cdot 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}} \cdot B^2 \\
 B &= 0,001585\text{T}
 \end{aligned}$$

Le courant doit donc être le suivant.

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{\mu_0 NI}{\ell} \\
 0,001585\text{T} &= \frac{4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot 500 \cdot I}{0,05\text{m}} \\
 I &= 0,1262\text{A}
 \end{aligned}$$

**10.** L'amplitude du champ électrique se trouve avec

$$\begin{aligned}
 \bar{I} &= \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \\
 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} &= \frac{1}{2} \cdot 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot E_0^2 \\
 E_0 &= 867,7 \frac{\text{V}}{\text{m}}
 \end{aligned}$$

L'amplitude du champ magnétique est

$$\begin{aligned} E_0 &= B_0 c \\ 867,7 \frac{\text{V}}{\text{m}} &= B_0 \cdot 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ B_0 &= 2,892 \times 10^{-6} \text{T} \end{aligned}$$

**11.** L'intensité est

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot \left(25 \frac{\text{V}}{\text{m}}\right)^2 \\ &= 0,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

La puissance captée est

$$\begin{aligned} P_{\text{captée}} &= I A_{\text{capteur}} \\ &= 0,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 30 \text{m}^2 \\ &= 24,9 \text{W} \end{aligned}$$

L'énergie captée en 5 minutes est alors

$$\begin{aligned} E &= P \Delta t \\ &= 24,9 \text{W} \cdot 300 \text{s} \\ &= 7471 \text{J} \end{aligned}$$

**12.** L'intensité à 2000 m de distance est

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{4\pi r^2} \\ &= \frac{1000 \text{W}}{4\pi \cdot (2000 \text{m})^2} \\ &= 1,989 \times 10^{-5} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

L'amplitude du champ électrique se trouve avec

$$\bar{I} = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2$$

$$1,989 \times 10^{-5} \frac{W}{m^2} = \frac{1}{2} \cdot 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot E_0^2$$

$$E_0 = 0,1224 \frac{V}{m}$$

L'amplitude du champ magnétique est

$$E_0 = B_0 c$$

$$0,1224 \frac{V}{m} = B_0 \cdot 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

$$B_0 = 4,080 \times 10^{-10} T$$

**13.** a) À la limite, on a

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$10^{-10} \frac{W}{m^2} = \frac{50W}{4\pi r^2}$$

$$r = 1,995 \times 10^5 m$$

$$r = 199,5 km$$

b) L'amplitude du champ électrique se trouve avec

$$\bar{I} = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2$$

$$10^{-10} \frac{W}{m^2} = \frac{1}{2} \cdot 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot E_0^2$$

$$E_0 = 2,744 \times 10^{-4} \frac{V}{m}$$

L'amplitude du champ magnétique est

$$E_0 = B_0 c$$

$$2,744 \times 10^{-4} \frac{V}{m} = B_0 \cdot 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

$$B_0 = 9,147 \times 10^{-13} T$$

**14.** L'intensité est

$$\begin{aligned}\bar{I} &= \frac{1}{2} \frac{cB_0^2}{\mu_0} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{3 \times 10^8 \frac{m}{s} \cdot (1 \times 10^{-7} T)^2}{4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}} \\ &= 1,194 \frac{W}{m^2}\end{aligned}$$

On a alors

$$\begin{aligned}I &= \frac{P}{4\pi r^2} \\ 1,194 \frac{W}{m^2} &= \frac{P}{4\pi \cdot (5m)^2} \\ P &= 375W\end{aligned}$$

**15.** La puissance captée par le panneau est

$$P = 0,2 \cdot 1350 \frac{W}{m^2} \cdot A_{\text{capteur}}$$

Le 0,2 indique que 20 % de la puissance de la lumière reçue est captée.

L'énergie reçue pendant toute l'année est donc

$$\begin{aligned}E &= P\Delta t \\ &= 0,2 \cdot 1350 \frac{W}{m^2} \cdot A_{\text{capteur}} \cdot \left(1 \text{an} \cdot 365,25 \frac{\text{jours}}{\text{an}} \cdot 12 \frac{\text{h}}{\text{jour}} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}\right) \\ &= 4,26 \times 10^9 \frac{J}{m^2} \cdot A_{\text{capteur}}\end{aligned}$$

Cette énergie captée doit être égale à l'énergie consommée, qui est de

$$E = 5 \times 10^{12} kWh \cdot 3,6 \times 10^6 \frac{J}{kWh} = 1,8 \times 10^{19} J$$

On a donc

$$1,8 \times 10^{19} J = 4,26 \times 10^9 \frac{J}{m^2} \cdot A_{\text{capteur}}$$

L'aire des panneaux est alors

$$A_{\text{capteur}} = 4,225 \times 10^9 m^2$$

Avec un capteur carré, la longueur d'un côté d'un capteur est

$$\begin{aligned} A_{\text{capteur}} &= l^2 \\ 4,225 \times 10^9 \text{ m}^2 &= l^2 \\ l &= 65 \text{ km} \end{aligned}$$

**16.** La pression est

$$\begin{aligned} P &= \frac{I}{c} \\ &= \frac{1350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\ &= 4,5 \times 10^{-6} \text{ Pa} \end{aligned}$$

La force est donc

$$\begin{aligned} F &= PA \\ &= 4,5 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot 50 \text{ m}^2 \\ &= 2,25 \times 10^{-4} \text{ N} \end{aligned}$$

**17.** La force de gravitation sur la plaque est

$$\begin{aligned} F &= mg \\ &= 0,001 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \\ &= 0,0098 \text{ N} \end{aligned}$$

Si on veut que la plaque lévite, la force de la pression de radiation doit être de 0,0098 N vers le haut. La pression de radiation doit être de

$$\begin{aligned} F &= PA \\ 0,0098 \text{ N} &= P \cdot 0,008 \text{ m}^2 \\ P &= 1,225 \text{ Pa} \end{aligned}$$

L'intensité de la lumière doit donc être de

$$P = \frac{I}{c}$$

$$1,225 Pa = \frac{I}{3 \times 10^8 \frac{m}{s}}$$

$$I = 3,675 \times 10^8 \frac{W}{m^2}$$

(C'est pas mal grand comme intensité... Ce serait l'intensité d'une ampoule de 462 milliards de W à 10 m de distance !)

### 18. La pression est

$$P = \frac{I}{c}$$

$$= \frac{6000 \frac{W}{m^2}}{3 \times 10^8 \frac{m}{s}}$$

$$= 2 \times 10^{-5} Pa$$

Cette pression s'exerce seulement là où le laser éclaire la plaque. Pour calculer la force, il faut donc prendre seulement l'aire de la région où le laser éclair la plaque.

$$F = PA$$

$$= 2 \times 10^{-5} Pa \cdot \pi \cdot (0,0005m)^2$$

$$= 1,571 \times 10^{-11} N$$

On ne peut pas dire que c'est une grosse force...

### 19. Commençons par trouver la force sur un grain de poussière. L'intensité de la lumière à une distance $r$ du Soleil est

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{100 \cdot 3,83 \times 10^{26} W}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{3,048 \times 10^{27} W}{r^2}$$

La pression de radiation est donc

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{I}{c} \\
 &= \frac{\left( \frac{3,048 \times 10^{27} \text{ W}}{r^2} \right)}{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\
 &= \frac{1,016 \times 10^{19} \text{ N}}{r^2}
 \end{aligned}$$

Si le grain a un rayon  $R$ , il agit comme un capteur circulaire de rayon  $R$ . La force sur le grain est donc de

$$\begin{aligned}
 F_{rad} &= PA \\
 &= \frac{1,016 \times 10^{19} \text{ N}}{r^2} \cdot \pi R^2 \\
 &= \frac{3,192 \times 10^{19} \text{ N}}{r^2} \cdot R^2
 \end{aligned}$$

La force de gravitation sur le grain est

$$\begin{aligned}
 F_g &= \frac{GM_{\text{Soleil}} m_{\text{grain}}}{r^2} \\
 &= \frac{GM_{\text{Soleil}} \pi (\text{Volume})_{\text{grain}}}{r^2} \\
 &= \frac{GM_{\text{Soleil}} \rho \left( \frac{4}{3} \pi R^3 \right)}{r^2} \\
 &= \frac{6,674 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot 2 \times 10^{30} \text{ kg} \cdot 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left( \frac{4}{3} \pi R^3 \right)}{r^2} \\
 &= \frac{1,118 \times 10^{24} \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot R^3}{r^2}
 \end{aligned}$$

Le grain est poussé à l'extérieur du système solaire si la force de poussée est supérieure à la force de gravitation. Donc si

$$\begin{aligned}
 \frac{3,192 \times 10^{19} \text{ N}}{r^2} \cdot R^2 &> \frac{1,118 \times 10^{24} \frac{\text{N}}{\text{m}}}{r^2} \cdot R^3 \\
 3,192 \times 10^{19} &> 1,118 \times 10^{24} \frac{1}{\text{m}} \cdot R \\
 2,854 \times 10^{-5} \text{ m} &> R
 \end{aligned}$$

Ainsi, tous les grains de poussière dont le rayon était inférieur à  $28,54 \mu\text{m}$  furent éliminés du système solaire par la pression de radiation.

**20.** Dans un champ de  $10^6 \text{ V/m}$ , l'accélération de l'électron est

$$\begin{aligned} a &= \frac{F}{m} \\ &= \frac{eE}{m} \\ &= \frac{1,602 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}} \\ &= 1,758 \times 10^{17} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

La puissance émise est donc

$$\begin{aligned} P &= \frac{a^2 q^2}{6\pi\epsilon_0 c^3} \\ &= \frac{\left(1,758 \times 10^{17} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot \left(1,602 \times 10^{-19} \text{ C}\right)^2}{6\pi \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot \left(3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3} \\ &= 1,761 \times 10^{-19} \text{ W} \end{aligned}$$

Puisque l'électron accélère pendant 10 s, l'énergie perdue est

$$\begin{aligned} E &= Pt \\ &= 1,761 \times 10^{-19} \text{ W} \cdot 10 \text{ s} \\ &= 1,761 \times 10^{-18} \text{ J} \\ &= 10,99 \text{ eV} \end{aligned}$$

**21.** Intensité de l'onde est

$$I = \frac{a^2 q^2 \sin^2 \theta}{16\pi^2 \epsilon_0 c^3 R^2}$$

Comme on a une oscillation harmonique, l'accélération est

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$$

L'intensité est donc

$$I = \frac{A^2 \omega^4 \sin^2(\omega t + \phi) q^2 \sin^2 \theta}{16\pi^2 \epsilon_0 c^3 R^2}$$

Pour avoir la valeur moyenne de l'intensité sur une période, on prend la valeur moyenne de  $\sin^2(\omega t + \phi)$  sur un cycle, qui est  $\frac{1}{2}$ . On a donc

$$\bar{I} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A^2 \omega^4 q^2 \sin^2 \theta}{16\pi^2 \epsilon_0 c^3 R^2}$$

Dans cette formule,  $\theta$  est l'angle entre la direction de l'accélération (verticale ici) et l'endroit où on veut savoir l'intensité. Cet angle est donc de  $60^\circ$ .

Avec les valeurs, on a

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,001m)^2 \cdot \left(\frac{2\pi}{10^{-6}s}\right)^4 \cdot (0,01C)^2 \cdot \sin^2 60^\circ}{16\pi^2 \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot \left(3 \times 10^8 \frac{m}{s}\right)^3 \cdot (15m)^2} \\ &= 6,881 \times 10^{-3} \frac{W}{m^2} \end{aligned}$$

**22.** Pendant le freinage, l'accélération de l'électron est

$$\begin{aligned} 2a(x - x_0) &= v^2 - v_0^2 \\ 2 \cdot a \cdot (10^{-10} m) &= 0 - \left(10^8 \frac{m}{s}\right)^2 \\ a &= -5 \times 10^{25} \frac{m}{s^2} \end{aligned}$$

La puissance émise est donc

$$\begin{aligned} P &= \frac{a^2 q^2}{6\pi \epsilon_0 c^3} \\ &= \frac{\left(5 \times 10^{25} \frac{m}{s^2}\right)^2 \cdot \left(1,602 \times 10^{-19} C\right)^2}{6\pi \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot \left(3 \times 10^8 \frac{m}{s}\right)^3} \\ &= 1,4238 \times 10^{-2} W \end{aligned}$$

La durée du freinage est

$$v = v_0 + at$$

$$0 = 10^8 \frac{m}{s} + (-5 \times 10^{25} \frac{m}{s^2}) \cdot t$$

$$t = 2 \times 10^{-18} s$$

L'énergie perdue est donc

$$E = Pt$$

$$= 1,4238 \times 10^{-2} W \cdot 2 \times 10^{-18} s$$

$$= 2,848 \times 10^{-20} J$$

$$= 0,1778 eV$$

**23.** a) L'accélération est

$$ma = \frac{kqq}{r^2}$$

$$a = \frac{kqq}{mr^2}$$

$$a = \frac{9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \cdot (1,602 \times 10^{-19} C)^2}{9,11 \times 10^{-31} kg \cdot (5,29 \times 10^{-11} m)^2}$$

$$a = 9,06 \times 10^{22} \frac{m}{s^2}$$

b) L'énergie mécanique de l'électron sur son orbite est

$$E = E_k + U$$

$$E = \frac{1}{2} m_e v^2 - \frac{kZe^2}{r}$$

Or, l'équation de la force centripète

$$m_e v^2 = \frac{kZe^2}{r}$$

nous permet d'écrire l'énergie cinétique sous la forme suivante.

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{kZe^2}{2r}$$

On a donc

$$\begin{aligned}
 E &= E_k + U \\
 &= \frac{kZe^2}{2r} - \frac{kZe^2}{r} \\
 &= -\frac{kZe^2}{2r}
 \end{aligned}$$

L'énergie est donc

$$\begin{aligned}
 E &= -\frac{ke^2}{2r} \\
 &= -\frac{9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \cdot (1,602 \times 10^{-19} C)^2}{2 \cdot 5,29 \times 10^{-11} m} \\
 &= -2,183 \times 10^{-18} J
 \end{aligned}$$

c) La puissance est

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{a^2 q^2}{6\pi\epsilon_0 c^3} \\
 &= \frac{(9,06 \times 10^{22} \frac{m}{s^2})^2 \cdot (1,602 \times 10^{-19} C)^2}{6\pi \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot (3 \times 10^8 \frac{m}{s})^3} \\
 &= 4,674 \times 10^{-8} W
 \end{aligned}$$

d) On sait que

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{a^2 e^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$$

Puisque l'accélération est

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{ke^2}{mr^2} \\
 &= \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mr^2}
 \end{aligned}$$

On a

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{e^6}{m^2 r^4 96\pi^3 \epsilon_0^3 c^3}$$

Puisque

$$\begin{aligned} E &= -\frac{ke^2}{2r} \\ &= -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \end{aligned}$$

On a aussi

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= \frac{dE}{dr} \frac{dr}{dt} \\ &= \frac{d}{dr} \left( -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \right) \frac{dr}{dt} \\ &= \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r^2} \frac{dr}{dt} \end{aligned}$$

En égalant nos deux  $dE/dt$  on a

$$\begin{aligned} \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r^2} \frac{dr}{dt} &= -\frac{e^6}{m^2 r^4 96\pi^3 \epsilon_0^3 c^3} \\ \frac{dr}{dt} &= -\frac{e^4}{m^2 r^2 12\pi^2 \epsilon_0^2 c^3} \\ r^2 dr &= -\frac{e^4}{m^2 12\pi^2 \epsilon_0^2 c^3} dt \\ \frac{r^3}{3} &= -\frac{e^4 t}{m^2 3\pi\epsilon_0 c^3} + cst \end{aligned}$$

Comme à  $t = 0$ , le rayon est le rayon de Bohr  $a_0$ , on a

$$\frac{a_0^3}{3} = 0 + cst$$

Ainsi, le rayon est

$$\begin{aligned} \frac{r^3}{3} &= -\frac{e^4 t}{m^2 12\pi^2 \epsilon_0^2 c^3} + \frac{a_0^3}{3} \\ r^3 &= a_0^3 - \frac{e^4 t}{m^2 4\pi^2 \epsilon_0^2 c^3} \end{aligned}$$

Ainsi, le temps pour arriver à  $r = 10^{-15}$  m est

$$(10^{-15} \text{ m})^3 = (5,29 \times 10^{-11} \text{ m})^3 - \frac{(1,602 \times 10^{-19} \text{ C})^4 \cdot t}{(9,11 \times 10^{-31} \text{ kg})^2 \cdot 4\pi^2 \cdot (8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}})^2 \cdot (3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3}$$

$$(10^{-15} \text{ m})^3 = (5,29 \times 10^{-11} \text{ m})^3 - 9,497 \times 10^{-21} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot t$$

$$t = 1,55 \times 10^{-11} \text{ s}$$

L'atome ne vivrait donc pas très longtemps...