

# Solutionnaire du chapitre 2

**1.** On trouve le champ avec

$$\begin{aligned}F_x &= qE_x \\0 &= 10\mu\text{C} \cdot E_x \\E_x &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_y &= qE_y \\-25\text{N} &= 10\mu\text{C} \cdot E_y \\E_y &= -2,5 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}\end{aligned}$$

On a donc un champ de  $2,5 \times 10^6$  N/C vers le bas.

**2.** La somme des forces en y nous donne

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\-mg + F_E &= 0 \\-10^{-13} \text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} + F_E &= 0 \\F_E &= 9,8 \times 10^{-13} \text{N}\end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned}F_y &= qE_y \\9,8 \times 10^{-13} \text{N} &= -2e \cdot E_y \\9,8 \times 10^{-13} \text{N} &= -2 \cdot 1,602 \times 10^{-19} \text{C} \cdot E_y \\E_y &= -3,059 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}\end{aligned}$$

On a donc un champ de  $3,059 \times 10^6$  N/C vers le bas.

**3.** La charge de  $2 \mu\text{C}$  fait un champ de

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{kQ}{r^2} \\
 &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 2 \times 10^{-6} \text{C}}{(4\text{m})^2} \\
 &= 1125 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

vers la droite.

La charge de  $5 \mu\text{C}$  fait un champ de

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{kQ}{r^2} \\
 &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 5 \times 10^{-6} \text{C}}{(6\text{m})^2} \\
 &= 1250 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

vers la gauche.

Le champ net est donc

$$\begin{aligned}
 E_x &= E_{x1} + E_{x2} \\
 &= 1125 \frac{\text{N}}{\text{C}} + -1250 \frac{\text{N}}{\text{C}} \\
 &= -125 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

On a donc un champ de  $125 \text{ N/C}$  vers la gauche.

**4.** À cet endroit, on est à

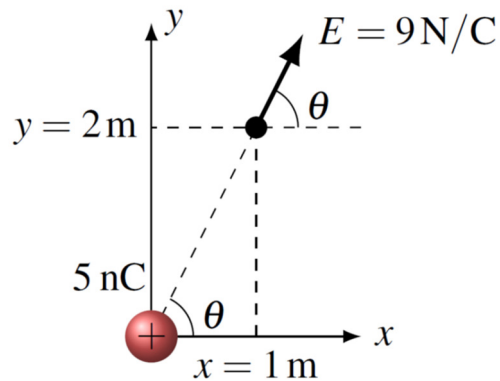
$$r = \sqrt{(2\text{m})^2 + (1\text{m})^2} = \sqrt{5}\text{m}$$

de la charge.

La grandeur du champ est donc

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{kQ}{r^2} \\
 &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 5 \times 10^{-9} \text{C}}{(\sqrt{5} \text{m})^2} \\
 &= 9 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

On a donc la situation suivante.



On trouve l'angle avec

$$\begin{aligned}
 \tan \theta &= \frac{2 \text{m}}{1 \text{m}} \\
 \theta &= 63,43^\circ
 \end{aligned}$$

Les composantes sont donc

$$\begin{aligned}
 E_x &= 9 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos 63,43^\circ = 4,025 \frac{\text{N}}{\text{C}} \\
 E_y &= 9 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \sin 63,43^\circ = 8,050 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

**5.** La charge de 10 nC fait un champ de

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \frac{kQ}{r^2} \\
 &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 10 \times 10^{-9} \text{C}}{(0,03 \text{m})^2} \\
 &= 100\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

vers le bas.

La charge de -5 nC fait un champ de

$$\begin{aligned} E_2 &= \frac{kQ}{r^2} \\ &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 5 \times 10^{-9} \text{C}}{(0,05\text{m})^2} \\ &= 18\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

vers la droite.

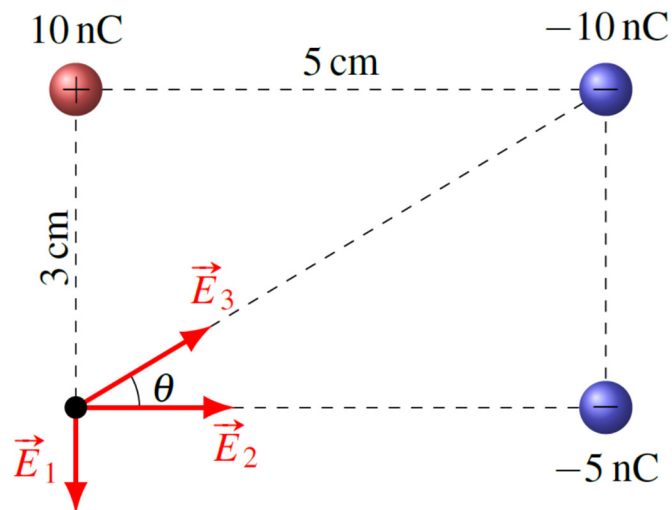
Pour la charge de -10 nC, la distance de la charge est

$$r = \sqrt{(0,03\text{m})^2 + (0,05\text{m})^2} = \sqrt{0,0034\text{m}}$$

La grandeur du champ est donc

$$\begin{aligned} E_3 &= \frac{kQ}{r^2} \\ &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 10 \times 10^{-9} \text{C}}{(\sqrt{0,0034\text{m}})^2} \\ &= 26\,471 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

On a donc la situation suivante.



Pour séparer en composantes, il faut connaître l'angle  $\theta$ . Cet angle est

$$\tan \theta = \frac{3\text{cm}}{5\text{cm}}$$

$$\theta = 30,96^\circ$$

Les composantes des champs sont donc

$$E_{1x} = 0$$

$$E_{1y} = -100\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{2x} = 18\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{2y} = 0$$

$$E_{3x} = 26\,471 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos(30,96^\circ) = 22\,698 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{3y} = 26\,471 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \sin(30,96^\circ) = 13\,619 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Les composantes du champ résultant sont donc

$$E_x = 0 + 18\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} + 22\,698 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$= 40\,698 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_y = -100\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} + 0 + 13\,619 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$= -86\,381 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

La grandeur du champ est alors

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

$$= \sqrt{(40\,698 \frac{\text{N}}{\text{C}})^2 + (-86\,381 \frac{\text{N}}{\text{C}})^2}$$

$$= 95\,488 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

alors que la direction du champ est

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{E_y}{E_x} \\ \tan \theta &= \frac{-86\,381 \frac{\text{N}}{\text{C}}}{40\,698 \frac{\text{N}}{\text{C}}} \\ \theta &= -64,8^\circ\end{aligned}$$

**6.** La charge de -4 nC fait un champ de

$$\begin{aligned}E_- &= \frac{kQ}{r^2} \\ &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 4 \times 10^{-9} \text{C}}{(0,06\text{m})^2} \\ &= 10\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}\end{aligned}$$

vers la gauche.

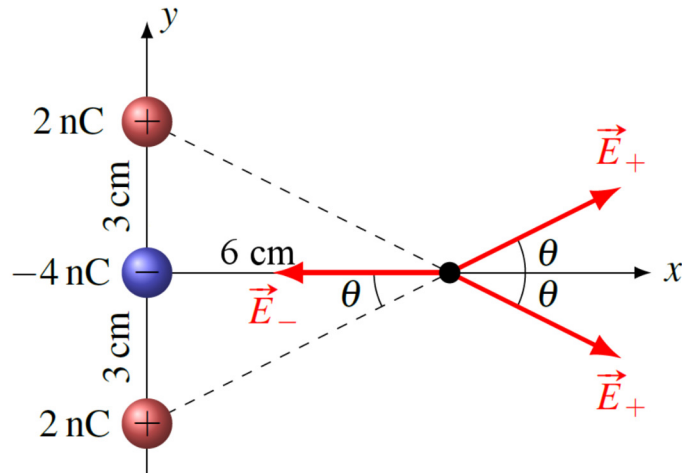
Pour les charges de 2 nC, la distance de la charge est

$$r = \sqrt{(0,03\text{m})^2 + (0,06\text{m})^2} = \sqrt{0,0045\text{m}}$$

Les charges de 2 nC font un champ de

$$\begin{aligned}E_+ &= \frac{kQ}{r^2} \\ &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 2 \times 10^{-9} \text{C}}{(\sqrt{0,0045\text{m}})^2} \\ &= 4\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}\end{aligned}$$

On a donc la situation suivante.



Pour séparer en composantes, il faut connaître l'angle  $\theta$ . Cet angle est

$$\tan \theta = \frac{3\text{cm}}{6\text{cm}}$$

$$\theta = 26,57^\circ$$

Les composantes des champs sont donc (le champ 1 est le champ fait par la charge négative, le champ 2 est le champ fait par la charge positive la plus basse et le champ 3 est le champ fait par la charge positive la plus haute)

$$E_{1x} = -10\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{1y} = 0 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{2x} = 4\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos(26,57^\circ) = 3\,578 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{2y} = 4\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \sin(26,57^\circ) = 1\,789 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{3x} = 4\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos(-26,57^\circ) = 3\,578 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_{3y} = 4\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \sin(-26,57^\circ) = -1\,789 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Les composantes du champ résultant sont donc

$$\begin{aligned} E_x &= -10\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} + 3\,578 \frac{\text{N}}{\text{C}} + 3\,578 \frac{\text{N}}{\text{C}} \\ &= -2\,845 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_y &= 0 + 1789 \frac{\text{N}}{\text{C}} + -1789 \frac{\text{N}}{\text{C}} \\ &= 0 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

Le champ est donc de 2845 N/C vers la gauche.

**7.** Le champ est

$$\begin{aligned} E &= \frac{k|Q|}{r(r+L)} \\ &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |12 \times 10^{-6} \text{C}|}{0,06\text{m} \cdot (0,06\text{m} + 0,04\text{m})} \\ &= 1,8 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

Comme la tige est positive, le champ est dans la direction opposée à la tige. On a donc un champ de  $1,8 \times 10^7$  N/C vers la droite.

**8.** On trouve le champ avec

$$E = \frac{k|\lambda|L}{r(r+L)}$$

En faisant tendre la valeur de  $L$  vers l'infini et en faisant ensuite la règle de l'Hospital.

$$\begin{aligned} E &= \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{k|\lambda|L}{r(r+L)} \\ &= \frac{k|\lambda|}{r} \end{aligned}$$

La grandeur du champ est donc



$$\begin{aligned}
 E &= \frac{k|\lambda|}{r} \\
 &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |2 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}|}{0,08\text{m}} \\
 &= 225\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Comme la tige est positive, le champ est dans la direction opposée à la tige. On a donc un champ de 225 000 N/C vers la droite.

**9.** Le champ est

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{2k|\lambda|L}{r\sqrt{L^2 + 4r^2}} \\
 &= \frac{2 \cdot 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |4 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}| \cdot 0,12\text{m}}{0,05\text{m} \cdot \sqrt{(0,12\text{m})^2 + 4 \cdot (0,05\text{m})^2}} \\
 &= 1,106 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Comme la tige est positive, le champ est dans la direction opposée à la tige. On a donc un champ de  $1,106 \times 10^6$  N/C vers le haut.

**10.** Le champ est

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{2k|\lambda|}{r} \\
 &= \frac{2 \cdot 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |8 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}|}{0,2\text{m}} \\
 &= 720\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Comme la tige est négative, le champ est vers la tige. On a donc un champ de 720 000 N/C vers le bas.

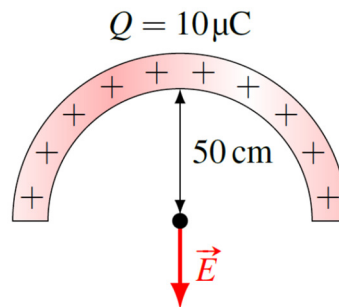
**11.** Dans cette situation, on a  $a = 0,5$  m et  $\beta = \pi$ . Il ne reste qu'à trouver la charge linéique de la tige. Comme la longueur de la tige est égale à la moitié de la circonférence du cercle, on a

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{Q}{l} \\ &= \frac{10 \times 10^{-6} \text{ C}}{\frac{1}{2} \cdot 2\pi \cdot (0,5 \text{ m})} \\ &= 6,366 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Le champ est donc

$$\begin{aligned}E &= \frac{2k|\lambda|}{a} \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \\ &= \frac{2 \cdot 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 6,366 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{0,5 \text{ m}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \\ &= 2,291 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}\end{aligned}$$

Le champ est dans la direction opposée au milieu de la tige puisque la tige a une charge positive.



**12.** Ici, on devra faire chacun des arcs à la fois, puis additionner le champ de chaque arc.

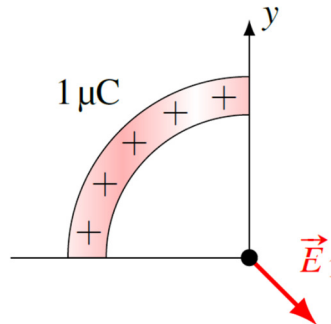
Commençons avec l'arc de charge positive. Dans cette situation, on a  $a = 0,15 \text{ m}$  et  $\beta = \pi/2$ . Il ne reste qu'à trouver la charge linéique de la tige. Comme la longueur de la tige est égale au quart de la circonférence du cercle, on a

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{Q}{l} \\ &= \frac{1 \times 10^{-6} \text{ C}}{\frac{1}{4} \cdot 2\pi \cdot (0,15 \text{ m})} \\ &= 4,244 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}\end{aligned}$$

Le champ est donc

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \frac{2k|\lambda|}{a} \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \\
 &= \frac{2 \cdot 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 4,244 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{0,15\text{m}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \\
 &= 3,6013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Le champ est dans la direction opposée au milieu de la tige puisque la tige a une charge positive.



Les composantes de ce champ sont

$$\begin{aligned}
 E_{1x} &= 3,6013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos(-45^\circ) = 2,5465 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \\
 E_{1y} &= 3,6013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \sin(-45^\circ) = -2,5465 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

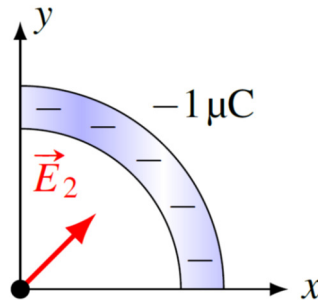
Continuons avec l'arc de charge négative. Dans cette situation, on a encore  $a = 0,1 \text{ m}$  et  $\beta = \pi/2$ . Comme la longueur de la tige est égale au quart de la circonférence du cercle, on a

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{Q}{l} \\
 &= \frac{-1 \times 10^{-6} \text{C}}{\frac{1}{4} \cdot 2\pi \cdot (0,15\text{m})} \\
 &= -4,244 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}
 \end{aligned}$$

Le champ est donc

$$\begin{aligned}
 E_2 &= \frac{2k|\lambda|}{a} \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \\
 &= \frac{2 \cdot 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \left| -4,244 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}} \right|}{0,15\text{m}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \\
 &= 3,6013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Le champ est vers le milieu de la tige puisque la tige a une charge négative.



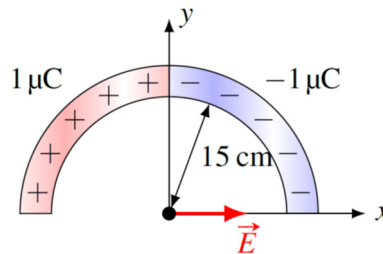
Les composantes de ce champ sont

$$\begin{aligned}
 E_{2,x} &= 3,6013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos(45^\circ) = 2,5465 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \\
 E_{2,y} &= 3,6013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \sin(45^\circ) = 2,5465 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Le champ total est donc

$$\begin{aligned}
 E_x &= E_{1,x} + E_{2,x} = 2,5465 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} + 2,5465 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 5,093 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \\
 E_y &= E_{1,y} + E_{2,y} = -2,5465 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} + 2,5465 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 0
 \end{aligned}$$

On a donc un champ dans la direction suivante.



**13.** Le champ est

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} \\
 &= \frac{\left|1 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}\right|}{2 \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\
 &= 56\,470 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Comme la plaque est positive, le champ est dans la direction opposée à la plaque. On a donc un champ de 56 470 N/C vers le haut.

**14.** La densité de charge des plaques est

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{10 \times 10^{-6} \text{C}}{0,002 \text{m}^2} \\
 &= 5 \times 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

Le champ est donc

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{\sigma}{\epsilon_0} \\
 &= \frac{5 \times 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\
 &= 5,647 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Le champ va de la plaque positive vers la plaque négative, donc la gauche.

**15.** On va trouver le champ fait par chacune des plaques.

Plaque 1 : celle de gauche

La densité est

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{Q_1}{A} \\ &= \frac{10 \times 10^{-6} \text{ C}}{0,002 \text{ m}^2} \\ &= 5 \times 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}\end{aligned}$$

Le champ est donc

$$\begin{aligned}E_1 &= \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \\ &= \frac{5 \times 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}}{2 \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ &= 2,824 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}}\end{aligned}$$

À droite de cette plaque, le champ est vers la droite (il est dans la direction opposée à la plaque 1 qui est positive). On a donc

$$E_{1,x} = 2,824 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Plaque 2 : celle du milieu

La densité est

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{Q_2}{A} \\ &= \frac{20 \times 10^{-6} \text{ C}}{0,002 \text{ m}^2} \\ &= 1 \times 10^{-2} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}\end{aligned}$$

Le champ est donc

$$\begin{aligned}E_2 &= \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \\ &= \frac{1 \times 10^{-2} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}}{2 \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ &= 5,647 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}}\end{aligned}$$

À droite de cette plaque, le champ est vers la gauche (il est vers la plaque 2 qui est négative). On a donc

$$E_{2x} = -5,647 \times 10^8 \frac{N}{C}$$

Plaque 3 : celle de droite

La densité est

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= \frac{Q_3}{A} \\ &= \frac{30 \times 10^{-6} C}{0,002 m^2} \\ &= 1,5 \times 10^{-2} \frac{C}{m^2} \end{aligned}$$

Le champ est donc

$$\begin{aligned} E_3 &= \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \\ &= \frac{1,5 \times 10^{-2} \frac{C}{m^2}}{2 \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}} \\ &= 8,471 \times 10^8 \frac{N}{C} \end{aligned}$$

À gauche de cette plaque, le champ est vers la gauche (il est dans la direction opposée à la plaque 3 qui est positive.). On a donc

$$E_{3x} = -8,471 \times 10^8 \frac{N}{C}$$

Le champ total est donc

$$\begin{aligned} E_x &= E_{1x} + E_{2x} + E_{3x} \\ &= 2,824 \times 10^8 \frac{N}{C} + -5,647 \times 10^8 \frac{N}{C} + -8,471 \times 10^8 \frac{N}{C} \\ &= -11,294 \times 10^8 \frac{N}{C} \end{aligned}$$

Le champ est donc de  $1,129 \times 10^9$  N/C vers la gauche.

## 16. Le champ est

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{k|Q|}{r^2} \\
 &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |25 \times 10^{-6} \text{ C}|}{(0,5\text{m})^2} \\
 &= 900\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Comme la sphère est positive, le champ est dans la direction opposée à la direction du centre de la sphère.

**17.** La charge de la sphère non-trouée est

$$\begin{aligned}
 Q &= \rho \cdot \text{Volume} \\
 &= 10 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}^3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (0,06\text{m})^3 \\
 &= 9,048 \times 10^{-9} \text{ C}
 \end{aligned}$$

Le champ fait par la sphère non-trouée est donc

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{k|Q|}{r^2} \\
 &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |9,048 \times 10^{-9} \text{ C}|}{(0,14\text{m})^2} \\
 &= 4155 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

La charge de la sphère qui boucherait le trou est

$$\begin{aligned}
 Q &= \rho \cdot \text{Volume} \\
 &= 10 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}^3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (0,01\text{m})^3 \\
 &= 4,189 \times 10^{-11} \text{ C}
 \end{aligned}$$

Le champ fait par la sphère qui boucherait le trou est donc

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{k|Q|}{r^2} \\
 &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |4,189 \times 10^{-11} \text{ C}|}{(0,11\text{m})^2} \\
 &= 31 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$



Le champ est donc  $4155 \text{ N/C} - 31 \text{ N/C} = 4124 \text{ N/C}$ .

**18.** La force sur la charge est

$$\begin{aligned} F_x &= qE_x \\ &= (-100 \times 10^{-6} \text{ C}) \cdot (-200\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \\ &= 20 \text{ N} \end{aligned}$$

L'accélération est donc

$$\begin{aligned} F_x &= ma_x \\ 20 \text{ N} &= 0,01 \text{ kg} \cdot a_x \\ a_x &= 2000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

La vitesse sera donc de

$$\begin{aligned} v_x &= v_{0x} + a_x t \\ &= 300 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 2000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2 \text{ s} \\ &= 4300 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

**19.** La force sur la charge est

$$\begin{aligned} F_x &= qE_x \\ &= 30 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot (-200\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \\ &= -6 \text{ N} \end{aligned}$$

L'accélération est donc

$$\begin{aligned} F_x &= ma_x \\ -6 \text{ N} &= 0,01 \text{ kg} \cdot a_x \\ a_x &= -600 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

On trouve finalement la distance d'arrêt avec

$$\begin{aligned} 2a_x(x - x_0) &= v_x^2 - v_{0x}^2 \\ 2 \cdot (-600 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot (x - 0 \text{ m}) &= (0 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - (300 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \\ x &= 75 \text{ m} \end{aligned}$$

**20.** L'accélération du proton se trouve avec

$$x = x_0 + v_{0,x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

$$2,5m = 0m + 0m + \frac{1}{2} \cdot a_x \cdot (0,002s)^2$$

$$a_x = 1\,250\,000 \frac{m}{s^2}$$

La force est donc

$$F_x = ma_x$$

$$= 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot 1,25 \times 10^6 \frac{m}{s^2}$$

$$= 2,091 \times 10^{-21} \text{ N}$$

Ce qui veut dire que le champ est

$$F_x = qE_x$$

$$2,091 \times 10^{-21} \text{ N} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C} \cdot E_x$$

$$E_x = 0,0131 \frac{N}{C}$$

**21.** Il y a 3 forces sur la charge.

- 1) La force de gravitation (0,0196 N vers le bas).
- 2) La force électrique ( $F_E$ ) vers la droite.
- 3) La force de Tension ( $T$ ) à  $120^\circ$ .

On a donc

$$\sum F_x = 0$$

$$\rightarrow F_E + T \cos(120^\circ) = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\rightarrow -0,0196N + T \sin(120^\circ) = 0$$

Avec la somme des forces en y, on trouve la tension.

$$-0,0196N + T \sin(120^\circ) = 0$$

$$T = 0,02263N$$

On utilise ensuite cette valeur pour trouver la force électrique avec la somme des forces en  $x$ .

$$\begin{aligned}F_E + T \cos(120^\circ) &= 0 \\F_E + 0,02263N \cdot \cos(120^\circ) &= 0 \\F_E &= 0,01132N\end{aligned}$$

Puisque cette force est  $F_E = qE_x$  et qu'on connaît la valeur du champ, on peut trouver la force.

$$\begin{aligned}F_E &= qE_x \\0,01132N &= q \cdot 200\,000 \frac{N}{C} \\q &= 5,658 \times 10^{-8} C = 56,58 nC\end{aligned}$$

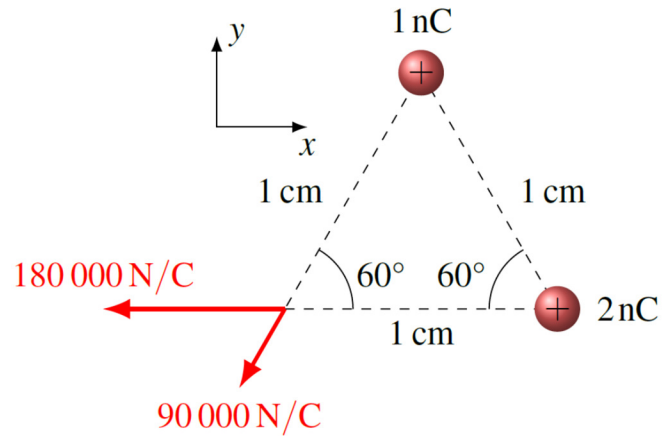
**22.** a) La charge de 1 nC fait un champ de

$$\begin{aligned}E_1 &= \frac{kQ}{r^2} \\&= \frac{9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \cdot 1 \times 10^{-9} C}{(0,01m)^2} \\&= 90\,000 \frac{N}{C}\end{aligned}$$

La charge de 2 nC fait un champ de

$$\begin{aligned}E_2 &= \frac{kQ}{r^2} \\&= \frac{9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \cdot 2 \times 10^{-9} C}{(0,01m)^2} \\&= 180\,000 \frac{N}{C}\end{aligned}$$

On a donc les 2 champs suivants.



La composante en  $x$  du champ résultant est

$$\begin{aligned}
 E_x &= E_1 \cos(-120^\circ) - E_2 \\
 &= 90\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos(-120^\circ) - 180\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \\
 &= -225\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

La composante en  $y$  du champ résultant est

$$\begin{aligned}
 E_y &= E_1 \sin(-120^\circ) \\
 &= 90\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \sin(-120^\circ) \\
 &= -77\,942 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

La grandeur du champ est alors

$$\begin{aligned}
 E &= \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \\
 &= \sqrt{\left(-225\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}\right)^2 + \left(-77\,942 \frac{\text{N}}{\text{C}}\right)^2} \\
 &= 238\,118 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

alors que la direction du champ est

$$\begin{aligned}
 \tan \theta &= \frac{E_y}{E_x} \\
 \tan \theta &= \frac{-77\,942 \frac{\text{N}}{\text{C}}}{-225\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}} \\
 \theta &= 199,1^\circ
 \end{aligned}$$

b) La force est

$$\begin{aligned} F &= qE \\ &= -3nC \cdot 238118 \frac{N}{C} \\ &= -7,144 \times 10^{-4} N \end{aligned}$$

Cela veut dire que la force a une grandeur de  $7,144 \times 10^{-4} N$  dans la direction opposée au champ, donc à  $19,1^\circ$ .

**23.** Le champ fait par la tige infinie est

$$\begin{aligned} E &= \frac{2k|\lambda|}{r} \\ &= \frac{2 \cdot 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \cdot |8 \times 10^{-6} \frac{C}{m}|}{0,2m} \\ &= 720\,000 \frac{N}{C} \end{aligned}$$

Ce champ est vers la tige, donc vers la gauche.

Le champ fait par la sphère est

$$\begin{aligned} E &= \frac{k|Q|}{r^2} \\ &= \frac{9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \cdot |20 \times 10^{-6} \frac{C}{m}|}{(0,40m)^2} \\ &= 1125\,000 \frac{N}{C} \end{aligned}$$

Ce champ est dans la direction opposée au centre de la sphère, donc vers la gauche.

La composante en  $x$  du champ résultant est

$$\begin{aligned} E_x &= -E_1 - E_2 \\ &= -720\,000 \frac{N}{C} - 1125\,000 \frac{N}{C} \\ &= -1\,845\,000 \frac{N}{C} \end{aligned}$$

La force sur la charge est donc

$$\begin{aligned}
 F_x &= qE_x \\
 &= (-5 \times 10^{-6} \text{ C}) \cdot (-1\,845\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \\
 &= 9,225 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Finalement, l'accélération est

$$\begin{aligned}
 F_x &= ma_x \\
 9,225 \text{ N} &= 0,1 \text{ kg} \cdot a_x \\
 a_x &= 92,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}
 \end{aligned}$$

L'accélération est donc de 92,25 m/s<sup>2</sup> vers la droite.

**24.** a) Le champ fait par la plaque est

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} \\
 &= \frac{|20 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}|}{2 \cdot 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\
 &= 1129\,409 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Ce champ est vers la plaque puisqu'elle a une charge négative.

La force sur la charge est donc

$$\begin{aligned}
 F &= qE \\
 &= 60 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot (-1129\,409 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \\
 &= 67,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cette force est dans la même direction que le champ, donc vers la plaque négative.

L'accélération de la charge est

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{F}{m} \\
 &= \frac{67,76 \text{ N}}{0,2 \text{ kg}} \\
 &= 338,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}
 \end{aligned}$$

On trouve alors le temps pour arriver à la plaque avec (on utilise un axe dirigé vers la plaque avec une origine à l'endroit où est située la charge initialement)

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$0,5m = 0m + 0m + \frac{1}{2} \cdot 338,8 \frac{m}{s^2} \cdot t^2$$

$$t = 0,0543s$$

b) La vitesse de la charge est

$$v = v_0 + at$$

$$= 0 \frac{m}{s} + 338,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0543s$$

$$= 18,41 \frac{m}{s}$$

c) Puisque la force sur la charge est de 67,76 N vers la plaque, la force sur la plaque est, en vertu de la troisième loi de Newton, de 67,76 N vers la charge de 60  $\mu\text{C}$ .

**25.** On peut utiliser l'équation

$$2a_y (y - y_0) = v_y^2 - v_{y0}^2$$

Puisque la charge passe de  $y = 0$  à  $y = -8$  cm, on a

$$2a_y (y - y_0) = v_y^2 - v_{y0}^2$$

$$2 \cdot a_y \cdot (-0,08m - y_0) = \left(0 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(2 \times 10^7 \frac{m}{s} \cdot \sin(-45^\circ)\right)^2$$

$$2 \cdot a_y \cdot (-0,08m - 0m) = \left(0 \frac{m}{s}\right)^2 - 2 \times 10^{14} \frac{m^2}{s^2}$$

$$a_y = \frac{2 \times 10^{14} \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 0,08m}$$

$$a_y = 1,25 \times 10^{15} \frac{m}{s^2}$$

La force sur l'électron est donc

$$F_y = ma_y$$

$$= 9,11 \times 10^{-31} kg \cdot 1,25 \times 10^{15} \frac{m}{s^2}$$

$$= 1,13875 \times 10^{-15} N$$

Le champ électrique est donc

$$F_y = qE_y$$

$$1,13875 \times 10^{-15} \text{ N} = (-1,602 \times 10^{-19} \text{ C}) \cdot E_y$$

$$E_y = -7108,3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

La densité de charge des plaques est donc

$$E = \frac{|\sigma|}{\epsilon_0}$$

$$7108,3 \frac{\text{N}}{\text{C}} = \frac{|\sigma|}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$\sigma = 6,2938 \times 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

Avec une aire de 400 cm<sup>2</sup>, la charge des plaques est

$$Q = \sigma A$$

$$= 6,2938 \times 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \cdot 0,04 \text{ m}^2$$

$$= 2,518 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$= 2,518 \text{ nC}$$

La plaque positive a donc une charge de 2,518 nC et la plaque négative a une charge de -2,518 nC.

## 26. Le moment de force est

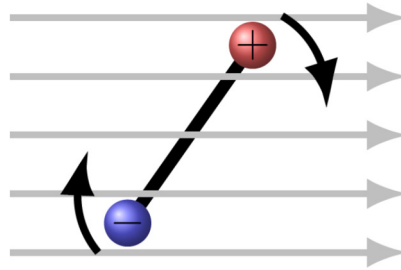
$$\tau = pE \sin \theta$$

$$= 0,002 \text{ Cm} \cdot 3000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \sin 55^\circ$$

$$= 4,915 \text{ Nm}$$

Le moment de force veut aligner le dipôle avec le champ pour que la charge positive soit du côté où se dirigent les lignes de champ. Le dipôle cherche donc à tourner dans le sens suivant.





**27.** Le moment dipolaire de ce dipôle est

$$\begin{aligned} p &= qL \\ &= 2\mu\text{C} \cdot 0,05\text{m} \\ &= 1 \times 10^{-7} \text{ Cm} \end{aligned}$$

L'énergie potentielle initiale est

$$\begin{aligned} U &= -pE \cos \theta \\ &= -1 \times 10^{-7} \text{ Cm} \cdot 300\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos 0^\circ \\ &= -0,03\text{J} \end{aligned}$$

L'énergie finale est

$$\begin{aligned} U &= -pE \cos \theta \\ &= -1 \times 10^{-7} \text{ Cm} \cdot 300\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \cos 180^\circ \\ &= 0,03\text{J} \end{aligned}$$

On doit donc fournir l'énergie suivante.

$$\begin{aligned} W_{\text{ext}} &= \Delta E_k + \Delta U \\ &= 0\text{J} + (0,03\text{J} - -0,03\text{J}) \\ &= 0,06\text{J} \end{aligned}$$

**28.** Les charges s'accumulent uniquement sur les faces qui sont dans la direction du champ électrique. Il n'y a donc que des charges qui s'accumulent sur la surface 2 et la surface opposée à la surface 2. On a donc

$$Q = 0 \text{ pour les surfaces 1 et 3}$$

Pour la surface 2, on a

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \epsilon_0 E \\
 &= 8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2} \cdot 50\,000 \frac{N}{C} \\
 &= 4,427 \times 10^{-7} \frac{C}{m^2}
 \end{aligned}$$

En multipliant par l'aire de la surface, on obtient la charge.

$$\begin{aligned}
 Q &= \sigma A \\
 &= 4,427 \times 10^{-7} \frac{C}{m^2} \cdot (0,2m)^2 \\
 &= 1,771 \times 10^{-8} C \\
 &= 17,71 nC
 \end{aligned}$$

Comme les lignes de champ commencent sur la surface 2, la charge doit être positive. Il y a donc +17,71 nC sur la surface 2.

**29.** La charge sur la surface interne est

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{surface interne}} &= -Q_{\text{dans cavité}} \\
 &= -2\mu C
 \end{aligned}$$

La charge sur la surface externe est

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{surface externe}} &= Q_{\text{du conducteur}} - Q_{\text{surface interne}} \\
 &= 0\mu C - (-2\mu C) \\
 &= 2\mu C
 \end{aligned}$$

**30.** La charge sur la surface interne est

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{surface interne}} &= -Q_{\text{dans cavité}} \\
 &= -4\mu C
 \end{aligned}$$

La charge sur la surface externe est

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{surface externe}} &= Q_{\text{du conducteur}} - Q_{\text{surface interne}} \\
 &= -2\mu C - (-4\mu C) \\
 &= 2\mu C
 \end{aligned}$$

**31.** Dans l'air, le champ serait

$$\begin{aligned} E_0 &= \frac{2k|Q|}{r\sqrt{L^2 + 4r^2}} \\ &= \frac{2 \cdot 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |10 \times 10^{-6} \text{C}|}{0,5\text{m} \cdot \sqrt{(0,2\text{m})^2 + 4 \cdot (0,5\text{m})^2}} \\ &= 3,53 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

Comme la permittivité relative de l'eau est 78,5, le champ est

$$\begin{aligned} E &= \frac{E_0}{\kappa} \\ &= \frac{3,53 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}}{78,5} \\ &= 4496 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

**32.** Pour le polystyrène, le champ maximal est  $24 \times 10^6 \text{ N/C}$ . Comme la permittivité relative est de 2,5, le champ dans le vide qui correspond à ce champ est

$$\begin{aligned} E &= \frac{E_0}{\kappa} \\ 24 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}} &= \frac{E_0}{2,5} \\ E_0 &= 60 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

La charge maximale de la sphère est donc

$$\begin{aligned} E_{0 \text{ max}} &= \frac{k|Q_{\text{max}}|}{r^2} \\ 60 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}} &= \frac{9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot |Q_{\text{max}}|}{(0,3\text{m})^2} \\ |Q_{\text{max}}| &= 600 \mu\text{C} \end{aligned}$$