

# Solutionnaire du chapitre 3

1. Le flux est

$$\begin{aligned}\phi &= EA \cos \theta \\ &= 200 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot (0,1\text{m} \times 0,1\text{m}) \cdot \cos 60^\circ \\ &= 1 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}\end{aligned}$$

(Ici, on a mis le vecteur  $A$  vers le haut. Si on avait mis ce vecteur vers le bas, l'angle aurait été de  $120^\circ$  et la réponse aurait été de  $-1 \text{ Nm}^2/\text{C}$ . Ces deux réponses sont bonnes.)

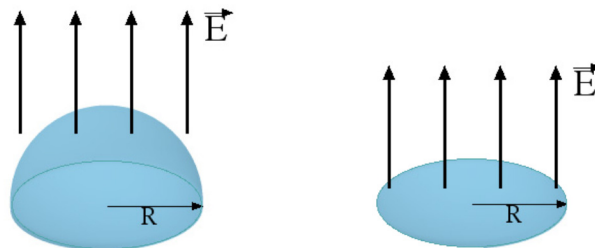
2. a) Sur la surface 1, le flux est

$$\begin{aligned}\phi &= EA \cos \theta \\ &= 2000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot (0,2\text{m} \times 0,2\text{m}) \cdot \cos 90^\circ \\ &= 0 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}\end{aligned}$$

b) Sur la surface 2, le flux est

$$\begin{aligned}\phi &= EA \cos \theta \\ &= 2000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot (0,2\text{m} \times 0,2\text{m}) \cdot \cos 0^\circ \\ &= 80 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}\end{aligned}$$

3. Il serait assez difficile de trouver le flux qui traverse l'hémisphère parce que l'angle entre le champ et la surface change constamment. Il faudrait ainsi faire une intégrale pour y arriver. Toutefois, on peut simplifier le calcul si on se rappelle qu'en calculant le flux on compte le nombre de lignes de champ qui traversent la surface. Le nombre de lignes de champ est le même que le nombre qui traverse un cercle ayant le même rayon que l'hémisphère.



Le flux à travers ce cercle est

$$\begin{aligned}\phi &= EA \cos \theta \\ &= 2000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \left( \pi \cdot (0,2\text{m})^2 \right) \cdot \cos 0^\circ \\ &= 251,3 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}\end{aligned}$$

(Ici, on a mis le vecteur  $A$  vers le haut. Si on avait mis ce vecteur vers le bas, l'angle aurait été de  $180^\circ$  et la réponse aurait été de  $-251,3 \text{ Nm}^2/\text{C}$ . Ces deux réponses sont bonnes.)

4. Si la surface est dans le plan  $xy$ , alors le vecteur  $A$  est dans la direction de l'axe des  $z$  puisqu'il doit être perpendiculaire au plan. Le vecteur surface est donc

$$\vec{A} = 10\text{m}^2 \vec{k}$$

Le flux est donc

$$\begin{aligned}\phi &= \vec{E} \cdot \vec{A} \\ &= \left( 1000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \vec{i} + 2000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \vec{j} - 3000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \vec{k} \right) \cdot 10\text{m}^2 \vec{k} \\ &= 1000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot 0\text{m}^2 + 2000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot 0\text{m}^2 - 3000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot 10\text{m}^2 \\ &= -30\,000 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}\end{aligned}$$

(Ici, on a mis le vecteur  $A$  vers les  $z$  positifs. Si on avait mis ce vecteur vers les  $z$  négatifs, la réponse aurait été de  $30\,000 \text{ Nm}^2/\text{C}$ . Ces deux réponses sont bonnes.)

5. Nous allons calculer le flux avec

$$\phi = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

Comme il n'y a que la charge de  $2 \mu\text{C}$  à l'intérieur de la surface, on a

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\ &= \frac{2 \times 10^{-6} \text{ C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ &= 225\,882 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}\end{aligned}$$

**6.** Le flux total à travers le cube est

$$\begin{aligned}\phi &= 3000 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}} + -1000 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}} + 500 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}} + -2500 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}} + 1500 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}} + 800 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}} \\ &= 2300 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}\end{aligned}$$

On trouve ensuite la charge nette à l'intérieur avec

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\ 2300 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}} &= \frac{Q_{\text{int}}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ Q_{\text{int}} &= 2,036 \times 10^{-8} \text{ C} = 20,36 \text{ nC}\end{aligned}$$

**7.** La charge à l'intérieur de la surface correspond à la charge de la partie de la tige qui est à l'intérieur de la surface. Cette charge est

$$\begin{aligned}Q_{\text{int}} &= \lambda L \\ &= 20 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}} \cdot 0,5 \text{ m} \\ &= 10 \mu\text{C}\end{aligned}$$

Le flux est donc

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\ &= \frac{10 \times 10^{-6} \text{ C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ &= 1,129 \times 10^6 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}}\end{aligned}$$

**8.** Pour trouver le champ, on fait une surface cylindrique autour du fil. Cette surface a un rayon de 30 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la charge de la partie de la tige qui est à l'intérieur de la surface. Cette charge est

$$\begin{aligned} Q_{\text{int}} &= \lambda h \\ &= 50 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}} \cdot h \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned} E(2\pi rh) &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\ E(2\pi \cdot 0,3\text{m} \cdot h) &= \frac{50 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}} \cdot h}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ E(2\pi \cdot 0,3\text{m}) &= \frac{50 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ E &= 2,996 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la tige.

- 9.** On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on connaît le champ. Cette surface a donc un rayon de 3 m. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la charge de la sphère au complet. On a donc

$$\begin{aligned} E(4\pi r^2) &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\ 2400 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot (4\pi \cdot (3\text{m})^2) &= \frac{Q_{\text{int}}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ Q_{\text{int}} &= 2,403 \times 10^{-6} \text{C} \end{aligned}$$

La densité surfacique de charge de la sphère est donc

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{Q}{4\pi R^2} \\ &= \frac{2,403 \times 10^{-6} \text{C}}{4\pi \cdot (0,6\text{m})^2} \\ &= 5,313 \times 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

- 10.** a) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 50 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la charge de la sphère au complet. On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,5m)^2) = \frac{60 \times 10^{-6} C}{8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}}$$

$$E = 2,157 \times 10^6 \frac{N}{C}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la sphère.

- b) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 10 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface est nulle puisque la sphère est conductrice et que les charges se retrouvent en surface de la sphère. Comme la surface de Gauss est plus petite que la sphère, il n'y a pas de charge à l'intérieur de la surface. On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,1m)^2) = \frac{0C}{8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}}$$

$$E = 0 \frac{N}{C}$$

On aurait pu aussi simplement dire que  $E = 0$  puisqu'on est dans un conducteur.

- 11.** a) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 50 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la charge de la sphère au complet. On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,5\text{m})^2) = \frac{-40 \times 10^{-6} \text{ C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$E = -1,438 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Comme la réponse est négative, le champ est de  $1,438 \times 10^6 \text{ N/C}$  vers le centre de la sphère.

- b) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 12 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur correspond à la charge de la partie de la sphère à l'intérieur de la surface. Il faut donc trouver la charge de la sphère qui est à moins de 12 cm du centre de la sphère. Pour y arriver, on trouve la densité de charge de la sphère. Cette densité est

$$\rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$$= \frac{-40 \times 10^{-6} \text{ C}}{\frac{4}{3}\pi (0,2\text{m})^3}$$

Ce serait très correct de calculer cette valeur, mais on va la laisser sous cette forme parce qu'il y aura simplification plus tard.

La charge à l'intérieur de la surface de 12 cm de rayon est donc

$$Q_{\text{int}} = \rho V_{\text{int}}$$

$$= \left( \frac{-40 \times 10^{-6} \text{ C}}{\frac{4}{3} \pi (0,2\text{ m})^3} \right) \frac{4}{3} \pi (0,12\text{ m})^3$$

C'est là que plusieurs termes se simplifient et il reste

$$Q_{\text{int}} = \rho V_{\text{int}}$$

$$= \frac{-40 \times 10^{-6} \text{ C}}{(0,2\text{ m})^3} (0,12\text{ m})^3$$

$$= -8,64 \times 10^{-6} \text{ C}$$

On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,12\text{ m})^2) = \frac{-8,64 \times 10^{-6} \text{ C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$E = -5,393 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Comme la réponse est négative, le champ est de  $5,393 \times 10^6 \text{ N/C}$  vers le centre de la sphère.

- 12.** a) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 40 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la partie de la charge de la tige qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$ . Cette charge est

$$Q_{\text{int}} = \lambda h$$

On a donc

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi rh) = \frac{\lambda h}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi r) = \frac{\lambda}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (2\pi \cdot 0,4m) = \frac{35 \times 10^{-6} \frac{C}{m}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}}$$

$$E = 1,573 \times 10^6 \frac{N}{C}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la tige.

b) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 1 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi r) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface est nulle puisque la tige est conductrice et que les charges se retrouvent en surface de la tige. Comme la surface de Gauss est plus petite que la tige, il n'y a pas de charge à l'intérieur de la surface. On a donc

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (2\pi \cdot 0,01m \cdot h) = \frac{0C}{8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}}$$

$$E = 0 \frac{N}{C}$$

On aurait pu aussi simplement dire que  $E = 0$  puisqu'on est dans un conducteur.

**13.** a) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 20 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$



La charge à l'intérieur de la surface correspond à la partie de la charge de la tige qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$ . Cette charge est

$$Q_{\text{int}} = \lambda h$$

On a donc

$$E(2\pi r h) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi r h) = \frac{\lambda h}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi r) = \frac{\lambda}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (2\pi \cdot 0,2\text{m}) = \frac{36 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$E = 3,236 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la tige.

b) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 8 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi r h) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la partie de la charge de la tige qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$ . Mais cette fois, la surface est plus petite que la tige. Il faut donc trouver la charge qui est à moins de 8 cm du centre de la tige et enlever la charge qui est entre 8 cm et 12 cm du centre de la tige. Pour y arriver, on trouve la densité de charge d'une partie de la tige de longueur  $h$ . Cette densité est

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{Q}{\text{volume}} \\ &= \frac{Q}{\pi R^2 h} \\ &= \frac{36 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h}{\pi (0,12\text{m})^2 h} \end{aligned}$$

Ce serait très correct de calculer cette valeur, mais on va la laisser sous cette forme parce qu'il y aura simplification plus tard.

La charge à l'intérieur de la surface de 8 cm de rayon est donc

$$\begin{aligned} Q_{\text{int}} &= \rho V_{\text{int}} \\ &= \left( \frac{36 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h}{\pi (0,12\text{m})^2 h} \right) \pi (0,08\text{m})^2 h \end{aligned}$$

C'est là que plusieurs termes se simplifient et il reste

$$\begin{aligned} Q_{\text{int}} &= \frac{36 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h}{(0,12\text{m})^2} (0,08\text{m})^2 \\ &= 16 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned} E(2\pi rh) &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\ E(2\pi rh) &= \frac{16 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h}{\epsilon_0} \\ E(2\pi r) &= \frac{16 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{\epsilon_0} \\ E \cdot (2\pi \cdot 0,08\text{m}) &= \frac{16 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ E &= 3,595 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la tige.

- 14.** a) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 40 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la charge de la charge centrale et de la coquille sphérique. La charge totale est donc de  $-10 \mu\text{C} + 5 \mu\text{C} = -5 \mu\text{C}$  On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,4\text{m})^2) = \frac{-5 \times 10^{-6} \text{C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$E = -2,809 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Comme la réponse est négative, on a un champ de  $2,809 \times 10^5 \text{ N/C}$  vers le centre de la sphère.

b) À 22 cm du centre, on est dans le conducteur. Le champ est donc nul.

c) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 5 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

Maintenant, il n'y a que la charge centrale qui est à l'intérieur de la surface de Gauss. On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,05\text{m})^2) = \frac{-10 \times 10^{-6} \text{C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$E = -3,595 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Comme la réponse est négative, on a un champ de  $3,595 \times 10^7 \text{ N/C}$  vers le centre de la sphère.

**15.** a) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 6 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond seulement à la partie de la charge de la tige centrale qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$ . Cette charge est

$$Q_{\text{int}} = \lambda_1 h$$

(On va appeler  $\lambda_1$  la charge linéique de la tige centrale et  $\lambda_2$  la charge linéique de l'enveloppe.)

On a donc

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi rh) = \frac{\lambda_1 h}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi r) = \frac{\lambda_1}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (2\pi \cdot 0,06m) = \frac{50 \times 10^{-6} \frac{C}{m}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}}$$

$$E = 1,498 \times 10^7 \frac{N}{C}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la tige.

b) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 20 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond seulement à la partie de la charge des deux tiges qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$ . Cette charge est

$$Q_{\text{int}} = \lambda_1 h + \lambda_2 h$$

On a donc

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi rh) = \frac{\lambda_1 h + \lambda_2 h}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi r) = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (2\pi \cdot 0,2m) = \frac{50 \times 10^{-6} \frac{C}{m} + -200 \times 10^{-6} \frac{C}{m}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}}$$

$$E = -1,348 \times 10^7 \frac{N}{C}$$

Comme la réponse est négative, on a un champ de  $1,348 \times 10^7$  N/C vers le centre de la tige.

- 16.** a) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 30 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la charge de la sphère au complet. On trouve cette charge avec

$$Q_{\text{int}} = \rho(\text{Vol})$$

N'oublions pas ici que le volume correspond au volume d'une sphère vide. Il faut donc enlever le volume de la cavité au volume de la sphère.

$$\begin{aligned} Q_{\text{int}} &= \rho(\text{Vol}) \\ &= \rho \left( \frac{4}{3} \pi R_{\text{ext}}^3 - \frac{4}{3} \pi R_{\text{int}}^3 \right) \\ &= 5 \times 10^{-3} \frac{C}{m^3} \left( \frac{4}{3} \pi (0,25m)^3 - \frac{4}{3} \pi (0,2m)^3 \right) \\ &= 1,597 \times 10^{-4} C \end{aligned}$$

On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,3\text{m})^2) = \frac{1,597 \times 10^{-4} \text{ C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$E = 1,595 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la sphère.

b) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 22 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à la partie de la charge de la sphère qui est à moins de 22 cm du centre. On trouve cette charge avec

$$Q_{\text{int}} = \rho(\text{Vol})_{\text{int}}$$

N'oublions pas ici que le volume correspond au volume d'une sphère de 22 cm à laquelle il faut enlever la cavité.

$$Q_{\text{int}} = \rho(\text{Vol})_{\text{int}}$$

$$= \rho \left( \frac{4}{3} \pi r^3 - \frac{4}{3} \pi R_{\text{int}}^3 \right)$$

$$= 5 \times 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \left( \frac{4}{3} \pi (0,22\text{m})^3 - \frac{4}{3} \pi (0,2\text{m})^3 \right)$$

$$= 5,546 \times 10^{-5} \text{ C}$$

On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,22\text{m})^2) = \frac{5,546 \times 10^{-5} \text{ C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$E = 1,030 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la sphère.

c) On va faire une surface sphérique autour de la sphère qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a un rayon de 10 cm. On a alors

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface est nulle puisque la surface de Gauss n'inclut aucune partie de la sphère chargée, elle n'inclut qu'une partie de la cavité.

$$Q_{\text{int}} = 0$$

On a donc

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot (4\pi \cdot (0,1\text{m})^2) = \frac{0\text{C}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}$$

$$E = 0 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

En fait, peu importe la valeur du rayon de la sphère de Gauss, le champ est toujours nul. Il n'y a donc pas de champ partout dans la cavité.

**17.** a) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 2 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond seulement à la partie de la charge de la partie centrale de la tige qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$ . Cette charge est

$$Q_{\text{int}} = \rho_1 \cdot (Vol)_{\text{int}}$$

(On va appeler  $\rho_1$  la charge volumique de la partie centrale et  $\rho_2$  la charge volumique de l'enveloppe.)

La charge est la charge à l'intérieur de la surface de Gauss d'un rayon de 2 cm. Elle est donc

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{int}} &= \rho_1 \cdot (Vol)_{\text{int}} \\
 &= \rho_1 \cdot \pi r^2 h \\
 &= 0,05 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (0,02\text{m})^2 h \\
 &= 6,283 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h
 \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned}
 E(2\pi r h) &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\
 E(2\pi r h) &= \frac{6,283 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h}{\epsilon_0} \\
 E(2\pi r) &= \frac{6,283 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{\epsilon_0} \\
 E \cdot (2\pi \cdot 0,02\text{m}) &= \frac{6,283 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\
 E &= 5,647 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Comme la réponse est positive, le champ est dans la direction opposée au centre de la tige.

b) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 8 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi r h) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à toute la charge de la partie centrale de la tige qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$  et a une partie de la charge de l'enveloppe à moins de 8 cm du centre de la tige. Cette charge est

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{int}} &= \rho_1 \cdot (Vol)_{\text{partie centrale}} + \rho_2 \cdot (Vol)_{\text{enveloppe à moins de 8 cm}} \\
 &= \rho_1 \cdot \pi R_1^2 h + \rho_2 \cdot (\pi r^2 h - \pi R_1^2 h)
 \end{aligned}$$

Le volume de la deuxième partie correspond au volume d'un cylindre se terminant à la surface de Gauss auquel on enlève la partie centrale qui a une densité différente. On a alors



$$\begin{aligned}
 Q_{\text{int}} &= \rho_1 \cdot \pi R_1^2 h + \rho_2 \cdot (\pi r^2 h - \pi R_1^2 h) \\
 &= 0,05 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (0,04\text{m})^2 \cdot h + -0,02 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot (\pi \cdot (0,08\text{m})^2 \cdot h - \pi \cdot (0,04\text{m})^2 \cdot h) \\
 &= \left[ 0,05 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (0,04\text{m})^2 + -0,02 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot (\pi \cdot (0,08\text{m})^2 - \pi \cdot (0,04\text{m})^2) \right] \cdot h \\
 &= -5,027 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h
 \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned}
 E(2\pi r h) &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\
 E(2\pi r h) &= \frac{-5,027 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h}{\epsilon_0} \\
 E(2\pi r) &= \frac{-5,027 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{\epsilon_0} \\
 E \cdot (2\pi \cdot 0,08\text{m}) &= \frac{-5,027 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\
 E &= -1,129 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Comme la réponse est négative, on a un champ de  $1,129 \times 10^7 \text{ N/C}$  vers le centre de la tige.

c) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de 12 cm et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi r h) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond à toute la charge de la partie centrale de la tige qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$  et une toute la charge de l'enveloppe qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$ . Cette charge est

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{int}} &= \rho_1 \cdot (Vol)_{\text{partie centrale}} + \rho_2 \cdot (Vol)_{\text{enveloppe}} \\
 &= \rho_1 \cdot \pi R_1^2 h + \rho_2 \cdot (\pi R_2^2 h - \pi R_1^2 h)
 \end{aligned}$$

Le volume de la deuxième partie correspond au volume d'un cylindre auquel on enlève la partie centrale qui a une densité différente. On a alors

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{int}} &= \rho_1 \cdot \pi R_1^2 h + \rho_2 \cdot (\pi R_2^2 h - \pi R_1^2 h) \\
 &= 0,05 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (0,04\text{m})^2 \cdot h + -0,02 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot (\pi \cdot (0,10\text{m})^2 \cdot h - \pi \cdot (0,04\text{m})^2 \cdot h) \\
 &= \left[ 0,05 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (0,04\text{m})^2 + -0,02 \frac{\text{C}}{\text{m}^3} \cdot (\pi \cdot (0,10\text{m})^2 - \pi \cdot (0,04\text{m})^2) \right] \cdot h \\
 &= -2,765 \times 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h
 \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned}
 E(2\pi r h) &= \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \\
 E(2\pi r h) &= \frac{-2,765 \times 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{m}} \cdot h}{\epsilon_0} \\
 E(2\pi r) &= \frac{-2,765 \times 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{\epsilon_0} \\
 E \cdot (2\pi \cdot 0,12\text{m}) &= \frac{-2,765 \times 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{m}}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\
 E &= -4,141 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}
 \end{aligned}$$

Comme la réponse est négative, on a un champ de  $4,141 \times 10^7 \text{ N/C}$  vers le centre de la tige.

- 18.** a) On va faire une surface cylindrique autour de la tige qui passe par l'endroit où on veut connaître le champ. Cette surface a donc un rayon de  $r$  et une longueur  $h$ . On a alors

$$E(2\pi r h) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

La charge à l'intérieur de la surface correspond seulement à la partie de la charge de la tige centrale qui est à l'intérieur de la surface de longueur  $h$ . Cette charge est

$$Q_{\text{int}} = \lambda_1 h$$

(On va appeler  $\lambda_1$  la charge linéique de la tige centrale et  $\lambda_2$  la charge linéique de l'enveloppe.)

On a donc

$$E(2\pi rh) = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi rh) = \frac{\lambda_1 h}{\epsilon_0}$$

$$E(2\pi r) = \frac{\lambda_1}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\lambda_1}{2\pi\epsilon_0 r}$$

**19.** La densité surfacique de charge de la sphère est

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{Q}{4\pi R^2} \\ &= \frac{50 \times 10^6 \text{ C}}{4\pi (0,25\text{m})^2} \\ &= 6,366 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}\end{aligned}$$

Le champ est donc

$$\begin{aligned}E &= \frac{\sigma}{\epsilon_0} \\ &= \frac{6,366 \times 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ &= 7,19 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}\end{aligned}$$

**20.** On trouve la densité de charge avec

$$\begin{aligned}E &= \frac{\sigma}{\epsilon_0} \\ 200\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}} &= \frac{\sigma}{8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \\ \sigma &= 1,771 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}\end{aligned}$$