

On propose ici quelques considérations élémentaires d'électricité atmosphérique. La résolution de cet exercice ne requiert pas de connaissances particulières, hormis les notions de force et d'énergie électrostatiques exigées par le programme. Toutes les grandeurs électriques dont il est question dans cet exercice sont supposées indépendantes du temps. Les charges électriques, de valeurs constantes, sont considérées ponctuelles.

13. On assimile la Terre à une boule solide de rayon  $R_T \approx 6000$  km et de centre  $T$ . On suppose qu'elle porte une charge électrique  $Q \approx -500$  kC ponctuelle, localisée en  $T$ . On s'intéresse à la valeur  $E_T$ , au niveau du sol, du champ électrique dû à cette charge. Pour cela, on précise que, si une charge électrique  $Q$  exerce une force électrostatique de valeur  $F_e$  sur une autre charge électrique  $q$ , alors cette dernière est soumise à un champ électrique de valeur  $E_e = \frac{F_e}{|q|}$ . Exprimer  $E_T$  puis calculer sa valeur. On donne  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9$  SI (SI = Système International des unités), où  $\epsilon_0$  est la permittivité diélectrique du vide.
- A)  $E_T = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 R_T^2}$       B)  $E_T = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 R_T}$       C)  $E_T = 1 \text{ GV.m}^{-1}$       D)  $E_T = 125 \text{ V.m}^{-1}$

14. À l'instar du champ de pesanteur, le champ électrique au voisinage du sol peut être considéré localement uniforme (sa valeur ne dépend pas de l'altitude), de direction verticale et orienté vers le bas (verticale descendante). Près du sol, l'atmosphère contient très majoritairement des ions de charge électrique  $q > 0$ . Quel est, dans le référentiel terrestre, le vecteur accélération  $\vec{a}$  d'un ion de masse  $m$ , dont le poids est négligeable, placé dans le champ électrique de valeur  $E_T$ ? Parmi les réponses proposées,  $\vec{e}_z$  est le vecteur unitaire orienté vers le haut (sens de la verticale ascendante).

A)  $\vec{a} = -\frac{qE_T}{m} \vec{e}_z$       B)  $\vec{a} = \frac{qE_T}{m} \vec{e}_z$       C)  $\vec{a} = \vec{0}$       D)  $\vec{a} = -\frac{mE_T}{q} \vec{e}_z$

15. Le mouvement vertical des ions positifs précédents définit un courant électrique. La valeur moyenne de ce courant est de  $2 \times 10^{-12}$  A par mètre carré de surface terrestre. En considérant la totalité de la surface terrestre, quel est l'ordre de grandeur de la durée  $\Delta t$  au bout de laquelle la charge positive transportée par ce courant est égale à  $|Q|$ ?

A)  $\Delta t \approx 10$  s      B)  $\Delta t \approx 10$  min      C)  $\Delta t \approx 100$  min      D)  $\Delta t \approx 10$  h

16. Les résultats précédents indiquent que la charge électrique de la Terre serait complètement neutralisée en peu de temps s'il n'existe pas un mécanisme de recharge. Ce sont les orages qui, en jouant le rôle de batterie électrique, permettent de maintenir une valeur de  $Q$  quasi constante. On se propose de déterminer quelques ordres de grandeurs caractéristiques qui interviennent dans un nuage d'orage. Pour cela, on peut modéliser grossièrement un tel nuage par un ensemble de deux charges ponctuelles, disposées verticalement, l'une négative  $Q_n \approx -40$  C proche de la base du nuage et l'autre positive  $Q_p \approx 40$  C à plus haute altitude. Sachant que ces deux charges sont distantes de  $d = 5$  km, exprimer le vecteur force électrostatique  $\vec{F}_e$  qu'exerce la charge négative  $Q_n$  sur la charge positive  $Q_p$ , puis calculer sa norme  $F_e$ . Parmi les réponses proposées,  $\vec{e}_z$  est le vecteur unitaire orienté vers le haut (sens de la verticale ascendante),  $z_n$  la coordonnée verticale de la charge  $Q_n$  et  $z_p$  celle de la charge  $Q_p$ .

A)  $\vec{F}_e = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 (z_p - z_n)^2} \vec{e}_z$   
 B)  $\vec{F}_e = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 (z_p - z_n)} \vec{e}_z$   
 C)  $F_e \approx 6 \times 10^2$  N  
 D)  $F_e \approx 6 \times 10^5$  N

17. Quelle est l'expression de l'énergie potentielle  $\varepsilon_{p,e}$  de la charge  $Q_p$  soumise à la force électrostatique de la part de la charge  $Q_n$ ? On prendra comme origine des énergies potentielles la configuration où les charges sont à des distances mutuelles infinies. Sachant que la production annuelle moyenne de puissance électrique en France était, en 2016, d'environ 150 GW (données officielles d'EDF), que vaut le rapport  $\alpha = \frac{\varepsilon_{p,e}}{\varepsilon_{EDF}}$  entre la valeur de  $\varepsilon_{p,e}$  et la valeur de l'énergie  $\varepsilon_{EDF}$  produite en une seconde sur le réseau électrique français.

A)  $\varepsilon_{p,e} = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 d}$       B)  $\varepsilon_{p,e} = \frac{Q_p}{4\pi\epsilon_0 d}$       C)  $\alpha \approx 0,02$       D)  $\alpha \approx 0,2$

18. Le nuage d'orage précédent présente une tension électrique  $U$  entre la base et son sommet que l'on peut écrire  $U = \frac{2\varepsilon_{p,e}}{|Q_n|}$ . Calculer  $U$  numériquement. En outre, sachant que la valeur  $E_o$  du champ électrique correspondant peut être prise égale à  $\frac{F_e}{|Q_n|}$ , quel est le rapport  $\alpha_E = \frac{E_o}{E_T}$  entre  $E_o$  et la valeur  $E_T$  du champ obtenu à la question 13?

A)  $U \approx 1,5$  MV      B)  $U \approx 150$  MV      C)  $\alpha_E \approx 120$       D)  $\alpha_E \approx 0,1$

On propose ici quelques considérations élémentaires d'électricité atmosphérique. La résolution de cet exercice ne requiert pas de connaissances particulières, hormis les notions de force et d'énergie électrostatiques exigées par le programme. Toutes les grandeurs électriques dont il est question dans cet exercice sont supposées indépendantes du temps. Les charges électriques, de valeurs constantes, sont considérées ponctuelles.

13. On assimile la Terre à une boule solide de rayon  $R_T \approx 6000$  km et de centre  $T$ . On suppose qu'elle porte une charge électrique  $Q \approx -500$  kC ponctuelle, localisée en  $T$ . On s'intéresse à la valeur  $E_T$ , au niveau du sol, du champ électrique dû à cette charge. Pour cela, on précise que, si une charge électrique  $Q$  exerce une force électrostatique de valeur  $F_e$  sur une autre charge électrique  $q$ , alors cette dernière est soumise à un champ électrique de valeur  $E_e = \frac{F_e}{|q|}$ . Exprimer  $E_T$  puis calculer sa valeur. On donne  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9$  SI (SI = Système International des unités), où  $\epsilon_0$  est la permittivité diélectrique du vide.
- A)  $E_T = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 R_T^2}$       B)  $E_T = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 R_T}$       C)  $E_T = 1 \text{ GV.m}^{-1}$       D)  $E_T = 125 \text{ V.m}^{-1}$

14. À l'instar du champ de pesanteur, le champ électrique au voisinage du sol peut être considéré localement uniforme (sa valeur ne dépend pas de l'altitude), de direction verticale et orienté vers le bas (verticale descendante). Près du sol, l'atmosphère contient très majoritairement des ions de charge électrique  $q > 0$ . Quel est, dans le référentiel terrestre, le vecteur accélération  $\vec{a}$  d'un ion de masse  $m$ , dont le poids est négligeable, placé dans le champ électrique de valeur  $E_T$ ? Parmi les réponses proposées,  $\vec{e}_z$  est le vecteur unitaire orienté vers le haut (sens de la verticale ascendante).

A)  $\vec{a} = -\frac{qE_T}{m} \vec{e}_z$       B)  $\vec{a} = \frac{qE_T}{m} \vec{e}_z$       C)  $\vec{a} = \vec{0}$       D)  $\vec{a} = -\frac{mE_T}{q} \vec{e}_z$

15. Le mouvement vertical des ions positifs précédents définit un courant électrique. La valeur moyenne de ce courant est de  $2 \times 10^{-12}$  A par mètre carré de surface terrestre. En considérant la totalité de la surface terrestre, quel est l'ordre de grandeur de la durée  $\Delta t$  au bout de laquelle la charge positive transportée par ce courant est égale à  $|Q|$ ?

A)  $\Delta t \approx 10$  s      B)  $\Delta t \approx 10$  min      C)  $\Delta t \approx 100$  min      D)  $\Delta t \approx 10$  h

16. Les résultats précédents indiquent que la charge électrique de la Terre serait complètement neutralisée en peu de temps s'il n'existe pas un mécanisme de recharge. Ce sont les orages qui, en jouant le rôle de batterie électrique, permettent de maintenir une valeur de  $Q$  quasi constante. On se propose de déterminer quelques ordres de grandeurs caractéristiques qui interviennent dans un nuage d'orage. Pour cela, on peut modéliser grossièrement un tel nuage par un ensemble de deux charges ponctuelles, disposées verticalement, l'une négative  $Q_n \approx -40$  C proche de la base du nuage et l'autre positive  $Q_p \approx 40$  C à plus haute altitude. Sachant que ces deux charges sont distantes de  $d = 5$  km, exprimer le vecteur force électrostatique  $\vec{F}_e$  qu'exerce la charge négative  $Q_n$  sur la charge positive  $Q_p$ , puis calculer sa norme  $F_e$ . Parmi les réponses proposées,  $\vec{e}_z$  est le vecteur unitaire orienté vers le haut (sens de la verticale ascendante),  $z_n$  la coordonnée verticale de la charge  $Q_n$  et  $z_p$  celle de la charge  $Q_p$ .

A)  $\vec{F}_e = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 (z_p - z_n)^2} \vec{e}_z$   
 B)  $\vec{F}_e = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 (z_p - z_n)} \vec{e}_z$   
 C)  $F_e \approx 6 \times 10^2$  N  
 D)  $F_e \approx 6 \times 10^5$  N

17. Quelle est l'expression de l'énergie potentielle  $\varepsilon_{p,e}$  de la charge  $Q_p$  soumise à la force électrostatique de la part de la charge  $Q_n$ ? On prendra comme origine des énergies potentielles la configuration où les charges sont à des distances mutuelles infinies. Sachant que la production annuelle moyenne de puissance électrique en France était, en 2016, d'environ 150 GW (données officielles d'EDF), que vaut le rapport  $\alpha = \frac{\varepsilon_{p,e}}{\varepsilon_{EDF}}$  entre la valeur de  $\varepsilon_{p,e}$  et la valeur de l'énergie  $\varepsilon_{EDF}$  produite en une seconde sur le réseau électrique français.

A)  $\varepsilon_{p,e} = \frac{Q_n Q_p}{4\pi\epsilon_0 d}$       B)  $\varepsilon_{p,e} = \frac{Q_p}{4\pi\epsilon_0 d}$       C)  $\alpha \approx 0,02$       D)  $\alpha \approx 0,2$

18. Le nuage d'orage précédent présente une tension électrique  $U$  entre la base et son sommet que l'on peut écrire  $U = \frac{2\varepsilon_{p,e}}{|Q_n|}$ . Calculer  $U$  numériquement. En outre, sachant que la valeur  $E_o$  du champ électrique correspondant peut être prise égale à  $\frac{F_e}{|Q_n|}$ , quel est le rapport  $\alpha_E = \frac{E_o}{E_T}$  entre  $E_o$  et la valeur  $E_T$  du champ obtenu à la question 13?

A)  $U \approx 1,5$  MV      B)  $U \approx 150$  MV      C)  $\alpha_E \approx 120$       D)  $\alpha_E \approx 0,1$

DM6

CCinP

TSI2