EXERCICES Appliquer le cours

Notion de champ (§1 du cours)

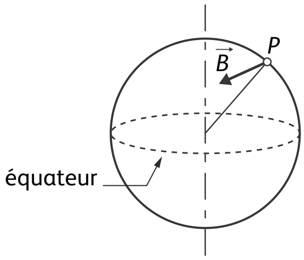
14. Analyser un thermogramme

a. Il s'agit du champ de température à la surface du corps du chien.
b. Ce champ est scalaire.
c. La température de la truffe du chien est proche de 20 °C, comme la température de ses pattes.
d. La fourrure du chien est à une température plus élevée que les extrémités de son corps. Les organes vitaux du chien sont à une température plus élevée que la température du milieu extérieur, et la fourrure constitue une paroi qui limite les pertes thermiques du corps du chien.

Champ magnétique (§2 du cours)

15. Représenter un vecteur champ

a. La mesure de l'inclinaison du champ magnétique à Paris par rapport à l'horizontale est d'environ 65°.
b.



L'échelle utilisée est de 1 cm pour 5×10^{-5} T.

16. Exploiter un spectre magnétique

a. On dispose d'une plaque transparente (verre ou plexiglas) sur l'aimant et on éparpille de la limaille de fer à la surface de la plaque. En tapotant légèrement sur la plaque, le spectre magnétique se forme.
b. Il s'agit des lignes du champ magnétique.
c. Il n'est pas possible de déterminer les pôles de l'aimant car le spectre ne donne aucune information sur l'orientation des lignes de champ.
d. Le champ n'est pas uniforme en dehors de l'espace entre les branches de l'aimant.

Champ électrostatique (§3 du cours)

17. Comparer des ordres de grandeurs

a. La valeur de la charge électrique de la charge du proton vaut $+e = +1{,}6 \times 10^{-19}$ C.
b. À une distance de 1 mm :

$$F = k \times \frac{q_p \times q_e}{r^2} = 9{,}0 \times 10^9 \times \frac{1{,}6 \times 10^{-19} \times 1{,}6 \times 10^{-19}}{0{,}001^2}$$

$$= 2{,}3 \times 10^{-22} \text{ N.}$$

À une distance de 0,1 nm :

$$F = k \times \frac{q_p \times q_e}{r^2} = 9{,}0 \times 10^9 \times \frac{1{,}6 \times 10^{-19} \times 1{,}6 \times 10^{-19}}{(1 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 2{,}3 \times 10^{-8} \text{ N.}$$

c. $E = \dfrac{F}{q}$

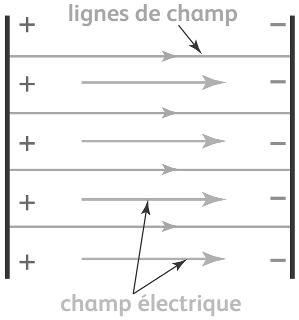
À 1 mm : $E = \dfrac{2{,}3 \times 10^{-22}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = 1{,}4 \times 10^{-3}\ \text{V·m}^{-1}$.

À 0,1 nm : $E = \dfrac{2{,}3 \times 10^{-3}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = 1{,}4 \times 10^{11}\ \text{V·m}^{-1}$.

d. Le champ électrique créé par le noyau de l'atome d'hydrogène (proton) est très intense dans une zone où se situe le nuage électronique, mais ce champ devient très rapidement négligeable lorsque l'on s'éloigne à des distances dont l'ordre de grandeur est de 1 mm (limite de l'échelle humaine).

18. Modéliser une expérience

a, b, c.



$$\mathscr{E} = \frac{U}{d} = \frac{12}{4{,}0 \times 10^{-2}} = 3{,}0 \times 10^2\ \text{V·m}^{-1}.$$

Champ de pesanteur et de gravitation (§4 du cours)

19. Utiliser des unités

a. $F_g = G \times M_T \times \dfrac{m}{R_T^2}$

$$= \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24} \times 60}{(6{,}38 \times 10^6)^2}$$

$$= 5{,}9 \times 10^2 \text{ N}$$

b. $\mathscr{G} = \dfrac{F_g}{m} = \dfrac{5{,}9 \times 10^2}{60} = 9{,}8\ \text{N·kg}^{-1}$

c. Avec deux chiffres significatifs, les valeurs 9,78 et 9,83 sont toutes deux égales à $9{,}8\ \text{N·kg}^{-1}$.
Conclusion : si on les exprime avec deux chiffres significatifs, les valeurs du champ de pesanteur et du champ de gravitation sont égales en première approximation.

EXERCICES S'entraîner

20. Exercice résolu dans le manuel

21. Application de l'exercice résolu

> COMPÉTENCES : **Restituer, analyser, réaliser.**

1. Le vecteur force électrostatique $\overrightarrow{F_{O/A}}$ a la direction de la droite qui joint le centre O du noyau de l'ion hélium He^+ au point A. Il est orienté de A vers O et sa valeur s'exprime par :

$$F_{O/A} = k \times \frac{Q \times |q|}{d^2} = 9{,}0 \times 10^9 \times \frac{3{,}2 \times 10^{-19} \times 1{,}6 \times 10^{-19}}{(0{,}05 \times 10^{-9})^2}$$

$$= 1{,}8 \times 10^{-7} \text{ N.}$$

Le vecteur champ électrostatique $\overrightarrow{E_A}$ a la direction de la droite qui joint le centre O du noyau de l'ion hélium He^+ au point A. Il est orienté de O vers A.
Sa valeur s'exprime par :

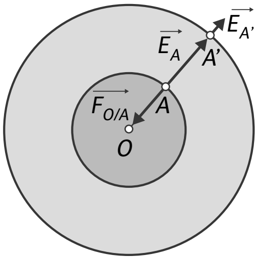
$$E_A = \frac{F_{O/A}}{|q|} = k \times \frac{Q}{d^2} = \frac{1{,}8 \times 10^{-7}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = 1{,}2 \times 10^{12}\ \text{V}\cdot\text{m}^{-1}.$$

Schéma de la situation : voir question **2.**

2. En A', le vecteur champ électrostatique $\overrightarrow{E_{A'}}$ a même sens et même direction que $\overrightarrow{E_A}$ mais la valeur a diminué et elle vaut :

$$E_{A'} = k \times \frac{Q}{d^2} = 9{,}0 \times 10^9 = \frac{3{,}2 \times 10^{-19}}{(0{,}1 \times 10^{-9})^2} = 2{,}9 \times 10^{11}\ \text{V}\cdot\text{m}^{-1}.$$

La valeur du champ a été divisée par 4.



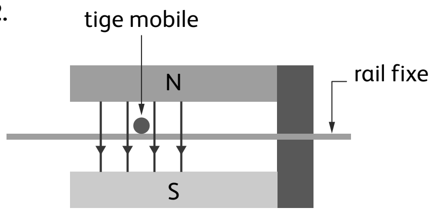
3. Dans le cas du modèle de Bohr de l'ion hélium He^+, les couches électroniques sont sphériques car le champ électrostatique garde une valeur constante lorsque le rayon ne varie pas.

22. Exercice résolu n° 2 dans le manuel

23. Application de l'exercice résolu n° 2

> COMPÉTENCES : **S'approprier, restituer, analyser, réaliser.**

1. et **2.**



3. La force de Laplace vaut :

$$F = I \times L \times B = 10 \times 0{,}05 \times 0{,}1 = 0{,}05\ \text{N}$$

ce qui est très faible malgré la valeur élevée du courant.

24. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : **Restituer, analyser, réaliser.**

a. À l'intérieur d'un condensateur plan, le champ électrique $\vec{E}$ est :
– uniforme ;
– de direction perpendiculaire au plan des plaques du condensateur ;
– orienté de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement.

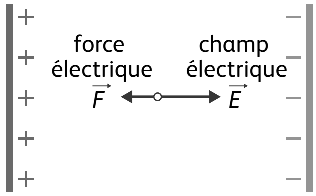
Représentation du vecteur champ électrique $\vec{E}$: voir le schéma ci-après.

b. La relation vectorielle entre le champ et la force électrostatique s'écrit :

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

avec $q = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C.

La charge de l'électron étant négative, la force électrostatique est opposée au champ, mais de même direction.



25. Utilisation d'une carte topographique

> COMPÉTENCES : **S'approprier, restituer, analyser, réaliser.**

a. Les courbes sur la carte sont des lignes isovaleurs d'altitude. Il s'agit donc de la représentation d'un champ scalaire (le champ d'altitude). Les lignes sont des courbes de niveau.

b. La grandeur représentée est l'altitude par rapport au niveau de la mer.

c. L'altitude maximale est d'environ 150 m et l'altitude minimale d'environ 90 m.

d. Au cours de sa balade, le promeneur fait une boucle et revient à son point de départ : il parcourt les mêmes dénivelés en montée et en descente. Le dénivelé positif est donc égal au dénivelé négatif en valeur absolue et vaut 150 – 90 = 60 m.

26. ★ Microphone à électret

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, réaliser.**

a. L'électret et la membrane constituent les armatures d'un condensateur plan, séparées par une distance de l'ordre de $d = 10\ \mu\text{m}$. Il existe une tension de l'ordre de 1 V entre les deux armatures. La valeur du champ est donc donnée par la relation :

$$E = \frac{U}{d} = \frac{1}{10^{-5}} = 10^5\ \text{V}\cdot\text{m}^{-1}.$$

b. L'onde sonore engendre une variation de tension ΔU de l'ordre de 10 mV. En considérant que le champ reste constant entre les deux armatures, on en déduit que la variation de distance entre les deux plaques vaut :

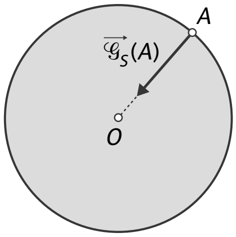
$$\Delta d = \frac{\Delta U}{E} = \frac{0{,}010}{10^5} = 10^{-7}\ \text{m soit } 10^{-1}\ \mu\text{m}.$$

27. ★ Champ gravitationnel du Soleil

> COMPÉTENCES : **Restituer, analyser, réaliser, valider.**

a. Le vecteur $\overrightarrow{\mathcal{G}_S}(A)$ a la direction de la droite qui joint le centre du Soleil au point A. Il est orienté de A vers O et sa valeur s'exprime par : $\mathcal{G}_S(A) = \frac{GM_S}{R_S^2}$ avec $M_S = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg et $R_S = 696 \times 10^6$ m.

$$\mathcal{G}_S(A) = 274\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}.$$



b. Le vecteur $\overrightarrow{\mathcal{G}_S}(B)$ a la direction de la droite qui joint les centres du Soleil et de la Terre. Il est dirigé vers le Soleil. En appelant d la distance Terre-Soleil (rayon moyen de l'orbite terrestre), sa valeur s'exprime par :

$$\overrightarrow{\mathcal{G}_S}(B) = \frac{GM_S}{d^2}.$$

$d = 150 \times 10^9$ m donc :

$$\mathcal{G}_S(B) = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 2 \times 10^{30}}{(150 \times 10^9)^2}$$

soit $\mathcal{G}_S(B) = 5{,}9 \times 10^{-3}\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$.

c. Le champ de gravitation à la surface de la Terre $\mathcal{G}_T(B)$ a une valeur de l'ordre de $10\ \mathrm{N \times kg^{-1}}$, elle est donc environ 2000 fois plus importante que celle de $\mathcal{G}_S(B)$.

28. In English Please

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, réaliser.**

a. D'après l'énoncé de l'exercice 1, le champ magnétique créé en un point situé à une distance R par un fil parcouru par un courant I décroît comme le carré de la distance R : la valeur du champ magnétique est inversement proportionnelle au carré de la distance R.

b. • Physics exercise 1

Une personne située à 18 m d'un fil parcouru par un courant d'intensité 500 A est soumise à un champ magnétique d'intensité 1,6 µT. On veut calculer la distance à laquelle la personne doit s'éloigner du fil pour que celui-ci soit réduit au quart de sa valeur, soit 0,4 µT. La valeur du champ magnétique est donc divisée par 4.

La valeur du champ magnétique étant inversement proportionnelle au carré de la distance, il suffit alors de doubler la distance, soit $16 \times 2 = 36$ m pour que la valeur du champ magnétique soit divisée par 4.

• Physics exercise 2

La valeur B_{France} du champ magnétique mesurée sur le sol français est de 47 µT et il est dit que ce champ est créé sous la croûte terrestre à une profondeur r de 30 km.

On peut écrire que :

$$B_{\text{France}} = a \times \frac{I}{r^2} \text{ soit } a \times I = B_{\text{France}} \times r^2.$$

Le satellite est en orbite à 450 km, il est donc situé à la distance $R = 450 + 30 = 480$ km de la source du champ magnétique sous la croûte terrestre.

On en déduit que :

$$B_{\text{Swarm}} = a \times \frac{I}{R^2} = \frac{B_{\text{France}} \times r^2}{R^2} = \frac{47 \times 30^2}{480^2} = 0{,}18\ \mu\mathrm{T}.$$

On ne retrouve pas exactement le résultat annoncé, ce qui n'est pas surprenant car l'épaisseur de la croûte est approximativement de 30 km à l'endroit de la mesure. En prenant 31 km et en écrivant le résultat avec 2 chiffres significatifs, on retrouve le résultat annoncé, soit 0,20 µT.

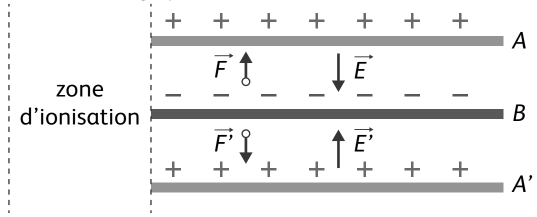
29. ★ Un filtre électrostatique pour dépolluer l'air

> COMPÉTENCES : **S'approprier, restituer, analyser, réaliser.**

a. Le champ $\vec{E}$ est orthogonal aux plaques. Il doit être orienté de A vers B.

b. La plaque A porte une charge positive et la plaque B une charge négative.

c. Le champ $\vec{E}'$ doit être orienté de A' vers B. La plaque A' porte une charge positive.



30. ★ S'auto-évaluer

En première approximation :

$$g_{\text{Terre}} = \mathcal{G}_{\text{Terre}} = 9{,}8\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}.$$

Avec les données disponibles dans les rabats, on calcule le champ de pesanteur sur Mars :

$$g_{\text{Mars}} = \mathcal{G}_{\text{Mars}} = \frac{G \times M_{\text{Mars}}}{R^2_{\text{Mars}}} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 6{,}42 \times 10^{23}}{(3{,}40 \times 10^6)^2}$$

$$= 3{,}70\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}.$$

On a donc : $\dfrac{\mathcal{G}_{\text{Terre}}}{\mathcal{G}_{\text{Mars}}} = \dfrac{9{,}8}{3{,}70} = 2{,}6.$

Le champ de pesanteur sur Mars est de 2 à 3 fois plus faible que le champ de pesanteur terrestre.

31. ★★ Structure d'une étoile à neutrons

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, réaliser, valider.**

a. En prenant un rayon moyen $R = 10$ km et une masse M égale à 1,5 fois la masse du Soleil pour une étoile à neutrons :

$$\mathcal{G}_{\text{étoile}} = \frac{G \times M}{R^2} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}5 \times 1{,}99 \times 10^{30}}{(10 \times 10^3)^2}$$

$$= 2{,}0 \times 10^{12}\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$$

soit $\mathcal{G}_{\text{étoile}}$ de l'ordre de $10^{12}\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$.

b. En estimant que le champ de pesanteur et le champ de gravitation sont égaux à la surface de l'étoile à neutrons en première approximation :

$$P_{\text{étoile}} = m \times g_{\text{étoile}} = m \times \mathcal{G}_{\text{étoile}} = 10^2 \times 10^{12} = 10^{14}\ \mathrm{N}.$$

c. En prenant $10\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$ pour le champ de pesanteur terrestre : $P_{\text{Terre}} = m \times g_{\text{Terre}} = 100 \times 10 = 10^3\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$.

$$\frac{P_{\text{étoile}}}{P_{\text{Terre}}} = \frac{10^{14}}{10^3} = 10^{11}.$$

Le champ de pesanteur sur l'étoile à neutrons est 100 milliards de fois plus grand que le champ de pesanteur terrestre. Les montagnes sont donc 100 milliards de fois plus lourdes que si elles étaient à la surface de la Terre : elles sont écrasées sous l'effet de leur propre poids et sont de ce fait extrêmement petites.

d. En prenant $M_{\text{neutron}} = 1{,}675 \times 10^{-27}$ kg :

$$\mathcal{G}_{\text{neutron}} = \frac{G \times M_{\text{neutron}}}{R^2} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}675 \times 10^{-27}}{(10^{-15})^2}$$

$$= 10^{-7}\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}.$$

Le champ de pesanteur est extrêmement faible à la surface d'un neutron : de l'ordre de $\dfrac{10^{12}}{10^{-7}} = 10^{19}$ fois, plus faible que le champ à la surface d'une étoile à neutrons.

e. $$\rho_{\text{étoile}} = \frac{m_{\text{étoile}}}{\frac{4}{3}\pi \times R^3_{\text{étoile}}} = \frac{1{,}5 \times 1{,}99 \times 10^{30}}{\frac{4}{3}\pi \times (10^4)^3} = 10^{18}\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$$

$$\rho_{neutron} = \frac{m_{neutron}}{\frac{4}{3}\pi \times R^3_{neutron}}$$

$$\text{A. N. : } \rho_{neutron} = \frac{1{,}675 \times 10^{-27}}{\frac{4}{3}\pi \times (10^{-15})^3} = 10^{17}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

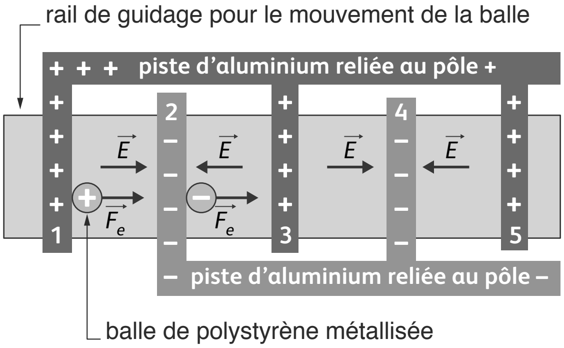
On constate que les masses volumiques d'un neutron et d'une étoile à neutrons sont quasiment du même ordre de grandeur, ce qui justifie l'appellation d'étoile à neutrons : celle-ci est composée uniquement de neutrons confinés les uns au contact des autres.

32. ★★ **Accélérateurs linéaires**

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, valider, communiquer.**

Les documents nécessaires à la résolution de cet exercice sont disponibles sur www.nathan.fr/sirius2015

1. • Schéma de principe de l'accélérateur linéaire de Birdyberth



• Explications du fonctionnement

Les pistes conductrices en aluminium 1, 2 et 3 sont reliées au pôle ⊕ du générateur et les pistes conductrices 2 et 4 sont reliées au pôle ⊖. L'espace entre les pistes 1 et 2 est assimilable à un condensateur plan.

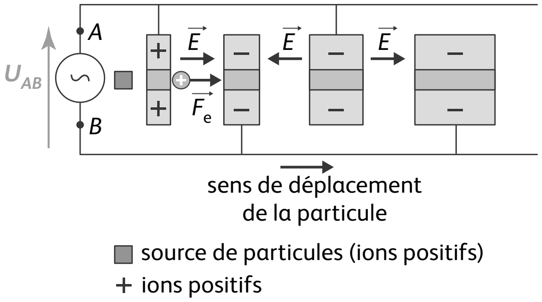
Le champ électrostatique $\vec{E}$ est orienté de la plaque positive 1 vers la plaque négative 2, dans une direction perpendiculaire à ces plaques.

La balle métallisée se charge d'une charge q positive lorsqu'elle passe au contact de la plaque 1. Lorsque la balle arrive entre les plaques 1 et 2, elle est soumise à une force électrique $\vec{F_e} = q\vec{E}$ qui est de même sens que $\vec{E}$: la balle accélère de la gauche vers la droite de la figure. Lorsque la balle arrive avec une vitesse $\vec{v_1}$ et rentre en contact avec la plaque 2, elle se charge négativement avec une charge $-q$, puis elle pénètre dans l'espace entre les plaques 2 et 3.

La balle est alors soumise à une force $\vec{F_e} = -q\vec{E}$, opposée au champ électrostatique qui, cette fois-ci, est orienté de la plaque 3 vers la plaque 2. Sous l'effet de la force électrique, la balle accélère de nouveau de la gauche vers la droite et sa vitesse augmente.

Le dispositif provoque donc un mouvement accéléré et en ligne droite de la balle au cours duquel la vitesse augmente, d'où le nom d'accélérateur linéaire.

2. • Schéma simplifié de l'accélérateur linéaire réel



Le champ est représenté sur la figure à un instant t tel que la tension U_{AB} est positive : le pôle A du générateur est alors positif et le pôle B est négatif.

3. Sur le schéma représenté à la question **2**, le champ électrostatique est orienté de la première électrode chargée positivement vers la deuxième électrode chargée négativement. L'ion étant de charge positive, il est soumis à une force électrostatique orientée dans le même sens que le champ électrostatique : l'ion subit donc une accélération vers la droite de la figure, qui l'entraîne vers la deuxième électrode.

4. L'ion va ensuite pénétrer dans la deuxième électrode. Son mouvement est alors rectiligne et uniforme car il ne subit aucune force notable (le champ électrostatique est nul dans la deuxième électrode et on néglige le poids de l'ion). À la sortie de la deuxième électrode, l'ion est à nouveau soumis à un champ électrostatique qui se traduit par une force.

Si le champ est tel que représenté à la question **2**, l'ion sera freiné car la force, de même sens que le champ (de la droite vers la gauche), s'oppose au mouvement. Pour que l'ion soit de nouveau accéléré, la force doit rester dans le même sens. Le champ doit alors **changer de sens** entre les électrodes ② et ③ : la tension doit donc changer de signe, ce qui implique qu'elle doit être alternative. À la différence de l'accélérateur de Birdyberth, le système ne peut pas fonctionner si la tension aux bornes du générateur est constante. Dans le système de Birdyberth, la charge de la « particule » change de signe, le champ change de sens mais la tension reste constante, alors que dans un accélérateur linéaire réel, la charge de la particule est constante, le champ est constant au passage de la particule entre deux électrodes et la tension change de signe (tension alternative).

5. Pour des raisons de symétrie, la tension doit changer de signe lorsque la particule se trouve au milieu de la deuxième électrode.

6. La fréquence de la tension alternative du générateur est constante. Les tensions maximale et minimale sont séparées dans le temps par une demi-période au minimum, ce qui correspond au temps maximal de l'ion pour traverser une électrode. Or, la vitesse de l'ion augmente à chaque passage entre deux électrodes au cours de son trajet dans l'accélérateur. Le mouvement de l'ion dans une électrode est rectiligne et uniforme car il n'est soumis à aucune force notable. La distance parcourue dans chaque électrode est proportionnelle à la vitesse acquise par l'ion puisque le temps de passage est toujours le même : la longueur des électrodes est donc proportionnelle à la vitesse acquise par l'ion et cette longueur est de plus en plus grande.

33. ★★ **Mesure d'un champ magnétique**

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, réaliser, valider.**

a. D'après la méthode exposée au **document 1**, pour un angle de 45°, les valeurs de la composante horizontale du champ magnétique terrestre B_h et la valeur du champ créé par l'aimant Geomag® sont égales et de valeur $2{,}0 \times 10^{-5}$ T.

b. On a $B_{max} = \frac{k}{d_0^3}$ et $B_h = \frac{k}{d^3}$. La distance d_0 entre la surface de l'extrémité de l'aimant et son centre est $d_0 = \frac{27}{2} = 13{,}5$ mm (14 mm avec 2 chiffres significatifs).

On a donc : $B_{max} = \frac{B_h \times d^3}{d_0^3} = B_h \times \left(\frac{d}{d_0}\right)^3$

$$= 2{,}0 \times 10^{-5} \times \left(\frac{140}{13{,}5}\right)^3$$

$$= 0{,}022 \text{ T} = 22 \text{ mT}.$$

On retrouve bien l'ordre de grandeur du **document 2**.

c. La mesure de la déviation de l'aiguille aimantée doit être mesurée avec une précision de l'ordre du degré, ce qui n'est pas facile avec une petite boussole : c'est probablement la plus grande cause d'erreur. De plus, la boussole doit être petite car le champ de l'aimant Geomag® décroît très rapidement avec la distance : la « mesure » du champ magnétique doit théoriquement être faite en un point.

EXERCICES Vers le Bac

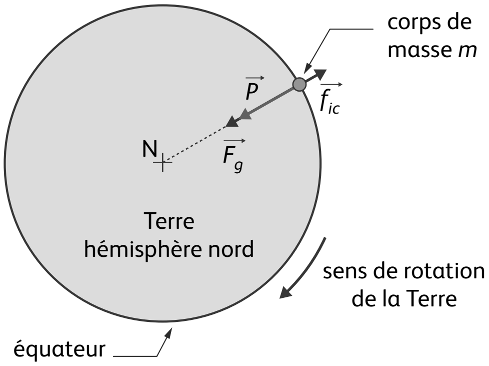
Les fiches-guides permettant d'évaluer ces exercices par compétences sont disponibles sur le site :
www.nathan.fr/sirius2015

34. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

Champs de pesanteur et de gravitation

> COMPÉTENCES : **S'approprier, restituer, analyser, réaliser, valider, communiquer.**

1. et **2.**



On a : $\vec{P} = \vec{F_g} + \vec{f_{ic}}$

Soit en valeur : $P = F_g - f_{ic}$.

3. D'après les données du **document 2**, en prenant le rayon équatorial R_E, la valeur du champ de gravitation vaut :

$$\mathcal{G}_E = G\frac{M_T}{R_E^2} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{5{,}97 \times 10^{24}}{(6\,378 \times 10^3)^2} = 9{,}79 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}.$$

Cette valeur est à comparer à la valeur de g à l'équateur qui vaut $g_E = 9{,}78$ N·kg^{-1}. La différence est très faible et de l'ordre de 0,01 N·kg^{-1} soit $\frac{0{,}01}{9{,}8} = 0{,}001 = 0{,}1$ % en valeur relative.

4. La valeur du champ de pesanteur est légèrement plus faible que la valeur du champ de gravitation à l'équateur. Ceci peut s'expliquer en considérant que la valeur du champ de pesanteur correspond à l'action de la Terre sur le corps, c'est-à-dire son poids, divisée par la masse de ce corps. Or, le poids du corps est la résultante de la force de gravitation et de l'effet de fronde due à la rotation de la Terre sur elle-même (« force » d'inertie centrifuge). D'après le schéma réalisé précédemment, cette « force » d'inertie centrifuge tend à diminuer la valeur du poids par rapport à la force de gravitation car à l'équateur, $P = F_g - f_{ic}$.

La relation entre le champ de pesanteur et le champ de gravitation à l'équateur s'écrit donc :

$$g_E = \frac{p}{m} = \frac{F_g}{m} = \frac{f_{ic}}{m} = \mathcal{G}_E - \frac{f_{ic}}{m}$$

où g_E est le champ de pesanteur à l'équateur et $\mathcal{G}_E$ est le champ de gravitation à l'équateur.

Comme on l'a vu, cette différence est de l'ordre de un pour mille (0,1‰). On peut donc largement assimiler le champ de gravitation et le champ de pesanteur à la surface de la Terre pour la plupart des applications de la vie courante.

Remarque : en réalité, la valeur de la différence entre le champ de gravitation et le champ de pesanteur est un peu plus élevée car la formule du champ de gravitation a été appliquée en considérant que la Terre est une sphère de rayon égal au rayon équatorial, ce qui est faux. En effet, la Terre présente un aplatissement aux pôles et ressemble plus à un ellipsoïde de révolution. Cette contribution de la rotation de la Terre n'existe pas aux pôles qui sont situés sur l'axe de rotation. Ainsi, le champ de pesanteur y est plus élevé qu'a l'équateur. Mais la principale cause de cette variation est, dans ce cas, l'aplatissement de la Terre aux pôles.

35. RÉSOLUTION DE PROBLÈME

La foudre : une décharge électrique sous haute tension !

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, réaliser, communiquer.**

Éléments de réponse

Le **document 2** apporte une information sur l'ordre de grandeur de la valeur du champ électrique mis en jeu lors de l'arrivée de la foudre : $E = 10$ à 15 kV/m. Or la tension électrique s'exprime en volt. On voit donc que l'on peut, par analyse dimensionnelle, obtenir une tension électrique en volt si on multiplie cette valeur de champ électrique par une distance : pour un mètre, on obtient 15 kV ; pour 10 m, on obtient 150 kV ; pour 100 m, on obtient 1 500 kV, etc.

Le problème de la détermination de l'ordre de grandeur de la tension entre le nuage d'orage et le sol se résume donc à la détermination de la distance entre la base du nuage et le sol.

À un niveau d'analyse et de modélisation plus élevé, on peut envisager une réponse formulée comme suit : pour estimer l'ordre de grandeur de la tension entre le nuage d'orage et le sol, on peut faire l'hypothèse que le nuage et le sol, séparés par de l'air, sont assimilables à un condensateur plan pour lequel le nuage et le sol constituent les armatures. On sait que dans un tel condensateur, le champ est uniforme, orienté verticalement et qu'il existe une relation qui permet de relier la tension U et la distance d entre les armatures avec le champ électrique E :

$$E = \frac{U}{d} \text{ soit } U = E \times d.$$

Pour déterminer la valeur de la tension U, il suffit d'estimer la valeur d, c'est-à-dire la hauteur H réelle de la base du nuage. La hauteur H se calcule à partir des valeurs de grandeurs que l'on peut relever sur la photographie du **document 1** (h, h_p et H_p) :

– la hauteur réelle des tours aéroréfrigérantes est de l'ordre de $h = 150$ m ;

– la hauteur des tours aéroréfrigérantes sur la photographie est de l'ordre de $h_p = 4$ mm ;

– la hauteur de l'éclair le plus proche des tours est de l'ordre de $H_p = 22$ mm.

Rermarque : ces mesures de longueurs ont été réalisées sur le manuel « grand format ».

D'après le **document 2** :

– la valeur du champ électrique pour lequel l'arrivée de la foudre est imminente est de l'ordre de $E = 15$ kV/m ;

– la hauteur H réelle vaut donc :

$H = \frac{H_p}{h_p} \times h = \frac{22 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} \times 150 \text{ m} = 8 \times 10^2 \text{ m}$ (soit environ 800 m) ;

– la tension U vaut alors :

$$U = E \times H = 1{,}5 \times 10^4 \times 8 \times 10^2 = 10^7 \text{ V}$$

soit environ 10 millions de volts !

(En prenant $E = 10$ kV/m, le calcul donne le même ordre de grandeur.)

Cette valeur de 10 millions de volts est à comparer avec la valeur extrême de 100 millions de volts que la tension électrique peut atteindre lors du phénomène de foudre. Bien que le résultat trouvé soit un ordre de grandeur en-dessous de la valeur maximale, l'ordre de grandeur obtenu semble être en accord avec la photographie qui présente une situation ordinaire en terme d'intensité du phénomène de foudre : le résultat est donc validé.

36. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

Cartographie d'équipotentielles

Pour cet exercice, se reporter à la fiche-guide disponible sur le site : www.nathan.fr/sirius2015