

Champs magnétiques et électrostatiques

Le programme

Notions et contenus	Compétences attendues
COMPRENDRE – Champs et forces	
– Champ magnétique : sources de champ magnétique (Terre, aimant, courant). – Champ électrostatique : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$.	– Comprendre comment la notion de champ a émergé historiquement d'observations expérimentales. – <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour cartographier un champ magnétique ou électrostatique.</i> – Connaître les caractéristiques du champ magnétique terrestre ; du champ électrostatique dans un condensateur plan.

Les compétences à acquérir dans la séquence

1. Cartographier des champs magnétiques et électrostatiques.
2. Décrire le champ magnétique terrestre.
3. Décrire un champ électrostatique dans un condensateur plan.

Évaluation diagnostique

p. 230

SITUATION 1

L'aiguille d'une boussole indique la direction du pôle nord magnétique, et non le pôle Nord géographique, qui est décalé. Elle est donc sensible au champ magnétique créé par la Terre. Elle permet de se repérer dans l'espace et, par exemple, d'orienter convenablement une carte.

L'**activité 1** propose une approche historique de l'utilisation de la boussole, permettant de comprendre en quoi elle a contribué à la description du champ magnétique terrestre.

SITUATION 2

Un aimant attire les petits objets en fer : cette attraction est une action à distance qui est perceptible à proximité de l'aimant. Elle est modélisée par une force magnétique, décrite en tous points de l'espace par un champ magnétique.

L'**activité 2** s'intéresse à une application du champ magnétique dans le domaine médical et propose de déterminer les caractéristiques d'un tel champ créé par un solénoïde.

SITUATION 3

Un milieu isolant est un milieu ne contenant pas de charges électriques capables de se déplacer, contrairement aux milieux conducteurs.

Dans un conducteur, le courant électrique modélise le déplacement des porteurs de charges électriques : les électrons dans les métaux et les ions dans les fluides.

Lorsqu'un déséquilibre de charges électriques apparaît de part et d'autre d'un milieu isolant (l'air entre les nuages et le sol), il peut se produire un arc électrique (un éclair). Ce phénomène correspond à l'ionisation

des composants du milieu isolant. Grâce à la présence de porteurs de charges, un courant électrique peut apparaître.

La répartition des charges électriques dans une région de l'espace peut être décrite par un champ électrostatique. L'activité 3 permet de décrire expérimentalement un tel champ.

ACTIVITÉS

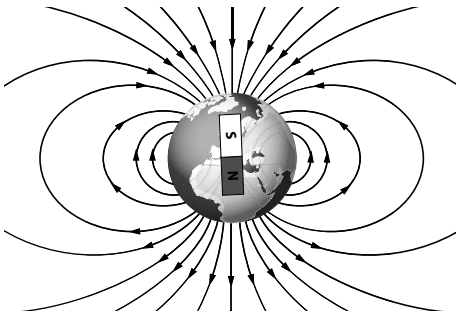
ACTIVITÉ 1

Le champ magnétique terrestre

p. 232

- Une boussole est un instrument d'orientation permettant de repérer facilement les directions cardinales géographiques.
 - Une boussole est composée d'un boîtier transparent sur lequel sont gravées les directions géographiques et d'une aiguille aimantée libre de tourner autour d'un axe fixe.
- Le pôle nord géographique est proche de la direction indiquée par le pôle nord indiqué par l'aiguille aimantée d'une boussole. Le pôle nord de l'aiguille est donc attiré par le pôle sud de l'aimant décrit dans le texte.
- En un point quelconque de la surface de la Terre, le champ magnétique terrestre s'oriente en direction du pôle nord magnétique.
 - Au niveau du pôle Nord, le champ magnétique terrestre s'oriente à la verticale vers le bas.
- D'après le texte, le champ magnétique terrestre résulte des « mouvements de matière dans les profondeurs de notre planète », c'est-à-dire le noyau liquide. Cette question est plus largement abordée en cours de SVT.
- D'après la séquence précédente, on appelle « champ » la représentation d'une grandeur physique en différents points d'une région de l'espace. L'étude de l'orientation d'une aiguille aimantée autour de la Terre peut donc conduire à l'établissement d'un champ.
 - Le champ magnétique est un champ vectoriel, car il est caractérisé (entre autres) par sa direction.

6.

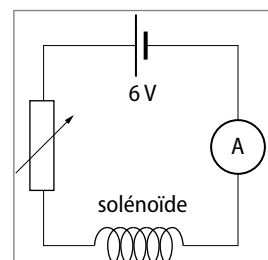


ACTIVITÉ 2

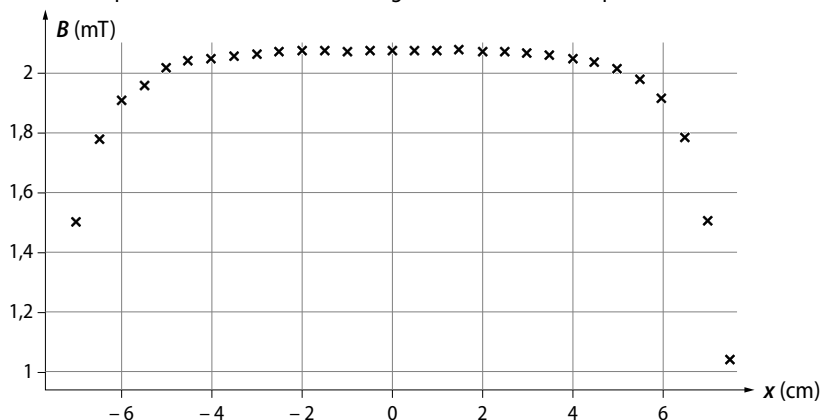
Champ magnétique en médecine

p. 233

- Un circuit série est un circuit électrique où tous les éléments du circuit sont parcourus par un courant électrique de même intensité.
 - Voir ci-contre.



2. a. Voici un exemple de résultats obtenus. L'origine des abscisses est prise au milieu du solénoïde.



b. À l'intérieur du solénoïde, la courbe présente un palier correspondant à une valeur constante du champ magnétique.

3. Le champ magnétique sur l'axe d'un solénoïde est un champ uniforme (l'utilisation d'une aiguille aimantée permet de s'assurer de la direction constante du vecteur champ).

4. Le dispositif d'IRM peut être modélisé par un solénoïde. À l'intérieur du tunnel d'examen, le patient est soumis à un champ magnétique uniforme : tout le corps est donc soumis au même champ magnétique.

ACTIVITÉ 3

Champ électrostatique et condensateur

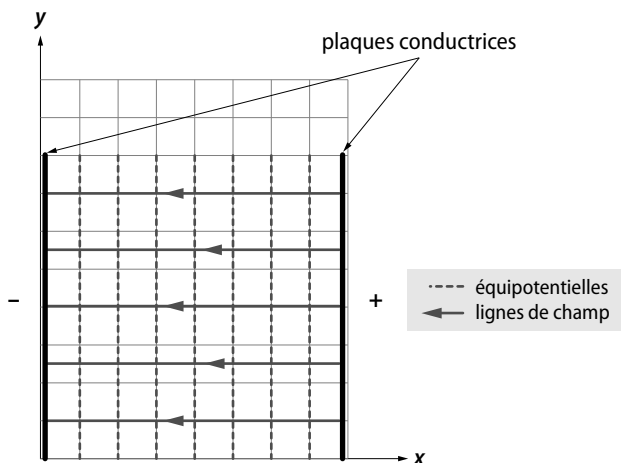
p. 234

1. a. La valeur affichée par le voltmètre est constante, égale à 6 volts.

b. On appelle équipotentielle l'ensemble des positions de l'espace où une grandeur a une valeur constante. En ce sens, la plaque reliée au pôle « + » du générateur est une équipotentielle.

2. Les valeurs de U indiquées sont approximativement mesurées pour une même valeur de x , quelle que soit la valeur de y .

3. a. et b.



c. Le vecteur champ électrostatique est partout tangent aux lignes de champ et est orienté dans le même sens.

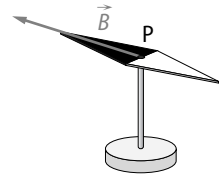
4. La valeur du champ est sensiblement la même en tous points de la zone comprise entre les deux armatures.

5. Entre les armatures d'un condensateur plan, le champ électrostatique est uniforme.

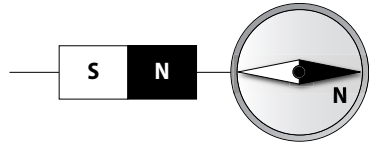
EXERCICES

COMPÉTENCE 1 : Cartographier des champs magnétiques et électrostatiques

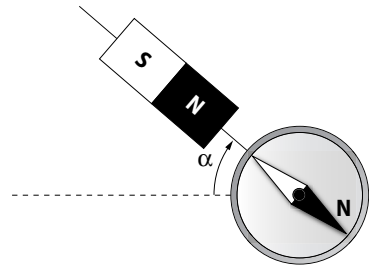
1 Au point P, le vecteur champ magnétique est orienté avec la même direction que l'aiguille aimantée, de son pôle sud vers le pôle nord.



2 1. Le pôle nord de l'aimant attire le pôle sud de l'aiguille aimantée.

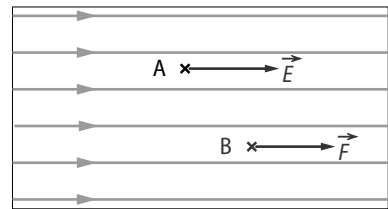


2. L'aiguille aimantée se déplace également d'un angle α .



- 3** 1. Les lignes de champ extérieures forment des boucles fermées.
 2. D'après la séquence précédente, on sait que les lignes de champ ne peuvent pas se croiser.
 3. a. À l'intérieur de l'aimant en U, les lignes de champ sont des segments parallèles entre eux.
 b. Le champ magnétique est uniforme dans l'entrefer d'un aimant en U.

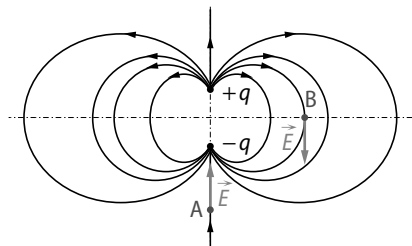
5 1. a. et b. On représente quelques lignes de champ ainsi que le vecteur champ électrostatique en un point A (voir figure ci-contre).



2. a. $F = E \cdot q$; soit :
 $F = 2,0 \times 10^3 \times 1,6 \times 10^{-19} = 3,2 \times 10^{-16}$ N.

b. On représente la force exercée en un point B. Voir figure ci-contre.

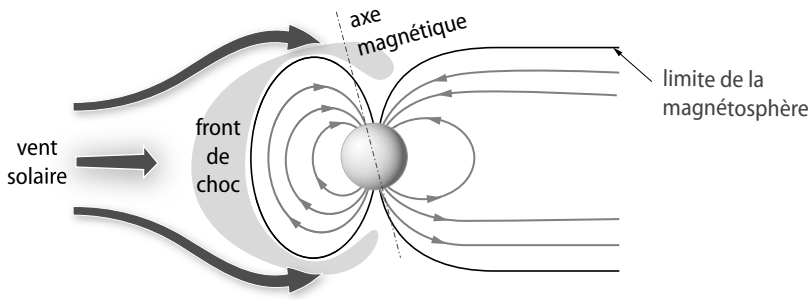
6 En tout point, la direction du vecteur champ électrostatique est tangente aux lignes de champ. Son sens suit celui de la ligne de champ.



COMPÉTENCE 2 : Décrire le champ magnétique terrestre

8 1. Le champ magnétique terrestre peut être comparé à celui d'un aimant se trouvant au centre de la Terre, légèrement incliné par rapport à son axe de rotation.

2.



3. a. La magnétosphère est le nom donné à la région de l'espace entourant la Terre où s'exerce de façon significative le champ magnétique terrestre.

b. La magnétosphère n'est pas symétrique par rapport à l'axe magnétique, elle est étirée dans la direction opposée à la position du Soleil.

9 Champ magnétique terrestre

La figure ci-dessous représente le champ magnétique terrestre (voir manuel).

1. a. Représenter le champ magnétique créé par un aimant droit.

b. Comparer le champ magnétique d'un aimant droit avec celui de la figure. Pourquoi peut-on dire que le champ magnétique terrestre peut être assimilé à celui créé par un grand aimant droit ?

2. Les positions des pôles magnétiques sont-elles cohérentes avec celles des pôles géographiques ?

3. Sur la figure, qu'est-ce que représente la direction de la boussole ?

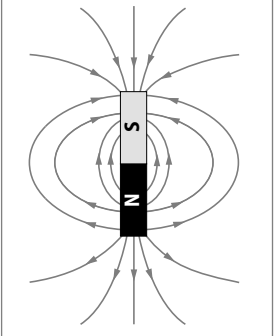
1. a. Voir figure ci-contre.

b. Les lignes du champ magnétique créé par un aimant droit sont comparables à celle du champ magnétique terrestre (elles sortent par un pôle et rentrent par un autre). Les deux champs sont donc comparables.

2. Les positions des pôles magnétiques et géographiques sont légèrement décalées.

3. Les orientations des aiguilles aimantées représentent les directions et le sens du vecteur champ magnétique en différents points de l'espace.

Figure de la question 1. a



COMPÉTENCE 3 : Décrire un champ électrostatique dans un condensateur plan

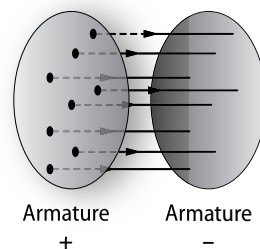
10 1. a. Entre les armatures d'un condensateur, les lignes de champ sont dirigées de l'armature chargée positivement vers l'armature chargée négativement. L'orientation des lignes est donc la même en tout point, ce qui n'est pas le cas ici.

b. Entre les armatures d'un condensateur, les lignes de champ sont des droites parallèles entre elles, elles ne peuvent donc pas converger vers un point.

c. Entre les armatures d'un condensateur, les lignes de champ sont dirigées de l'armature chargée positivement vers l'armature chargée négativement. L'orientation des lignes est donc inversée sur le schéma.

11 1. Les deux disques dorés constituent les armatures du condensateur. Sur la photographie proposée, l'espace entre les deux armatures comporte deux milieux diélectriques : l'air et le verre.

2.

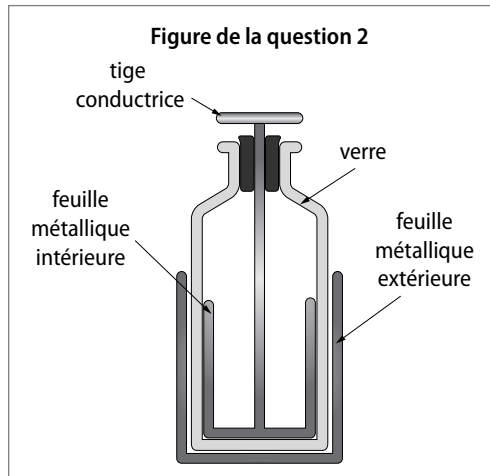


12 1. a. Dans une bouteille de Leyde, les deux feuilles d'étain jouent le rôle d'armatures de condensateur.

b. Le verre de la bouteille constitue le matériau diélectrique.

2. Voir figure ci-contre.

3. La bouteille de Leyde a une symétrie cylindrique, les lignes de champ sont radiales et ne sont donc pas parallèles entre elles.

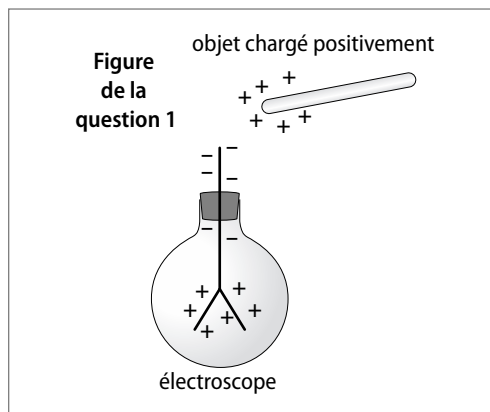


13 1. Voir figure ci-contre.

2. a. Les feuilles se rapprochent car la répulsion électrostatique est moins importante. Il y a donc moins de charges négatives que précédemment.

b. Les deux feuilles de l'électroscope portent une charge électrique identique et de même signe, elles ne constituent donc pas un condensateur.

c. Les charges portées par chaque feuille sont de même signe, les lignes de champ sont donc divergentes et symétriques par rapport à un plan vertical.



14 1. Sur la simulation, les lignes de champ occupent tout l'espace, il règne donc un champ électrostatique dans toute la région considérée.

2. Un champ uniforme est représenté par des lignes de champ parallèles entre elles. On retrouve cette configuration entre les armatures du condensateur.

3. Loin des armatures, les lignes de champ sont plus espacées. Le champ y est donc moins intense qu'à l'intérieur des armatures.

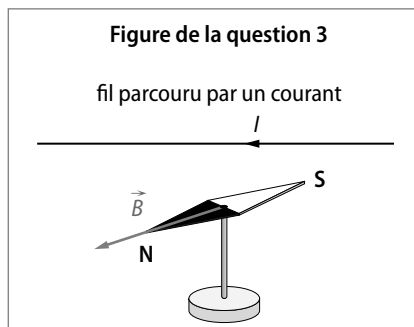
EXERCICES DE SYNTHÈSE

15 1. L'expérience décrite dans cet exercice a été initialement réalisée en 1820 par le physicien danois Hans Christian Oersted (1774-1851).

2. a. Le changement d'orientation de l'aiguille lorsque le fil est parcouru par un courant électrique signifie que les caractéristiques du champ magnétique en ce point ont été modifiées.

b. L'inversion du sens de l'aiguille aimantée montre que le sens du vecteur champ magnétique est inversé.

3. Voir figure ci-contre.



16 1. Les courbes figurées sur la modélisation représentent les lignes de champ du champ magnétique terrestre.

2. La simulation proposée apparaît plus complexe que la carte de champ magnétique d'un aimant. On retrouve néanmoins des lignes bouclées qui émergent des pôles, ce qui justifie l'analogie avec l'aimant droit.

3. Les lignes de champ magnétique sortent du pôle géographique Sud (orange) et entrent par le pôle géographique Nord (bleu).

17 1. Les courbes vertes autour du globe représentent des lignes de champ magnétique.

2. Dans l'hémisphère nord, le pôle nord de l'aiguille s'oriente vers le centre de la Terre. Dans l'hémisphère sud, ce sera le pôle sud.

3. L'axe des aiguilles aimantées est tangent aux lignes de champ.

4. a. Au niveau de l'équateur magnétique, la direction de l'aiguille est perpendiculaire à la verticale, l'angle d'inclinaison vaut donc 90° . Au pôle nord magnétique, l'aiguille est verticale : l'angle d'inclinaison est donc nul.

b. En supposant la Terre sphérique et en connaissant la valeur de son rayon, il est possible de déterminer sa position à la surface de la Terre à partir de la mesure de l'angle d'inclinaison et en appliquant les formules de trigonométrie.

18 1. a. Le poids d'un objet est modélisé par une force verticale dirigée vers le bas.

b. $P = m \cdot g$.

c. $P = m_e \cdot g = 9,1 \times 10^{-31} \times 9,8 = 8,9 \times 10^{-30} \text{ N}$.

2. L'électron est soumis à deux forces : son poids et la force électrostatique. Pour que ces deux forces se compensent, il faut qu'elles aient même direction, même intensité mais des sens opposés.

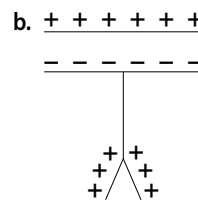
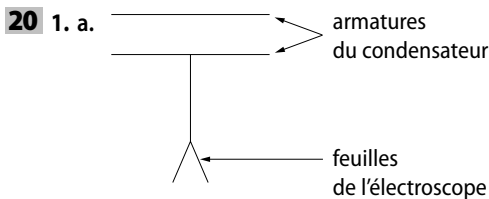
La force électrostatique \vec{F} subie par une charge q placée dans un champ électrostatique \vec{E} s'écrit : $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$. Le vecteur champ \vec{E} est donc colinéaire à la force électrostatique, vertical et dirigé vers le haut. Son intensité se calcule grâce à la relation : $|q| \cdot E = m \cdot g$.

$$E = \frac{m \cdot g}{|q|} = \frac{9,1 \times 10^{-31} \times 9,8}{1,6 \times 10^{-19}} = 5,6 \times 10^{-11} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

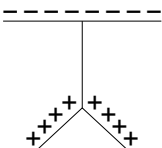
19 1. Entre les armatures, les graines semblent s'aligner.

2. Les lignes de champ sont perpendiculaires aux armatures.

3. La photographie ne permet pas de déterminer l'orientation des lignes de champ : il faudrait pour cela connaître la polarité des armatures.



2. $++++++$



21 1. D'après la relation proposée, l'intensité du champ électrostatique est inversement proportionnelle à la surface des armatures. Le champ électrostatique sera donc d'autant plus intense que la surface des armatures sera réduite.

2. $E = 20 \times 10^{-6} / (8,85 \times 10^{-12} \times 4,0 \times 10^{-6}) = 5,6 \times 10^{11} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.

3. a. —| |—

b. Le champ électrostatique entre les armatures d'un condensateur est uniforme. La longueur du vecteur \vec{E} est donc la même en tout point.

EN ROUTE VERS LA TERMINALE

22 1. La charge et la tension étant proportionnelles d'un coefficient C , on a bien la relation proposée.

2. D'après la relation précédente : $q_A = 220 \times 10^{-12} \times 4,5 = 9,9 \times 10^{-10} \text{ C}$.

3. a. Lorsqu'on double la valeur de la tension entre les bornes du condensateur, la charge sur les armatures double également.

b. Lorsqu'on double la valeur de la tension entre les bornes du condensateur, la valeur de la capacité du condensateur reste inchangée : elle est propre au condensateur et ne dépend pas de la tension électrique appliquée.

23 1. Voir figure ci-contre.

2. $F = 1,6 \times 10^{-19} \times 5,0 \times 10^6 \times 2,0 \times 10^{-5} \times \sin(30)$

$F = 8,0 \times 10^{-18} \text{ N}$.

3. a. L'expression de la force de Lorentz ne dépend pas de la masse de la particule. La réponse est donc non.

b. La force de Lorentz subie par un proton a la même intensité F que celle subie par un électron (ils ont la même charge en valeur absolue).

Poids d'un proton : $P = 10\,000 \times m \cdot g = 10\,000 \times 9,1 \times 10^{-31} \times 9,8 = 8,9 \times 10^{-26} \text{ N}$.

Le rapport de ces deux grandeurs vaut donc $F/P = \frac{8,0 \times 10^{-18}}{8,9 \times 10^{-26}} = 9,0 \times 10^7$.

Le poids d'un proton est donc négligeable devant la force de Lorentz qu'il subit.

