

Chapitre 15 - Champs et forces

Manuel pages 252 à 273

Choix pédagogiques

Après avoir étudié les interactions entre deux corps en s'appuyant sur les lois de Coulomb et de Newton, c'est un nouveau cadre théorique qui est introduit dans ce chapitre avec le concept de champ. Nous avons choisi d'aborder ce concept à travers des exemples variés de la vie quotidienne ou déjà étudiés en classe avant d'introduire et de caractériser les champs magnétique, électrostatique, de gravitation. Par ailleurs, nous avons choisi de montrer l'intérêt scientifique et l'importance de ce concept en développant différents exemples de champs et applications dans le cadre des exercices et des sujets de « Culture scientifique et citoyenne ».

Des animations, des simulations et des vidéos ont été créées pour illustrer ce chapitre et aider à sa compréhension. Elles sont disponibles dans le manuel numérique enrichi.

*Remarque : pour les exercices 11, 19 et 27, les valeurs des rayons et des masses de la Terre, du Soleil et de Mars, ainsi que la distance Terre-Soleil ne sont pas dans les rabats des spécimens. Ces valeurs ont été ajoutées dans les rabats du **manuel élève** comme ci-dessous.*

données du système solaire		
distance Terre-Soleil : $149,6 \times 10^9$ m		
$R_{\text{Soleil}} = 696 \times 10^6$ m	$R_{\text{Terre}} = 6,38 \times 10^6$ m	$R_{\text{Mars}} = 3,40 \times 10^6$ m
$M_{\text{Soleil}} = 1,99 \times 10^{30}$ kg	$M_{\text{Terre}} = 5,97 \times 10^{24}$ kg	$M_{\text{Mars}} = 6,42 \times 10^{23}$ kg

Double page d'ouverture

Températures moyennes des eaux superficielles océaniques (janvier 2011)

La carte des températures des eaux superficielles océaniques a été choisie car elle permet aux élèves, dans un premier temps, de l'interpréter en associant les données couleur-température et, dans un deuxième temps, de retrouver des résultats connus : la température de surface est globalement plus élevée près de l'équateur et devient plus basse en se rapprochant des pôles. Mais cette carte, par la vision globale qu'elle fournit, permet de noter que la variation de température des eaux de l'équateur aux pôles n'est pas linéaire et peut ainsi être utilisée pour des études prenant en compte un océan dans son intégralité, les relations entre les océans etc... L'objectif est de montrer le changement de point de vue qu'apporte cette connaissance : on passe de la valeur de la température en un point à une vision globale de sa valeur et de ses variations nécessaire pour étudier des phénomènes à l'échelle de la Terre. Par ailleurs, cette entrée dans le thème montre que le concept de champ n'est pas du domaine réservé des sciences physiques et chimiques mais est un concept transversal.

Sur le Web

<http://www.webmeteo.com/les-cartes-meteo/la-temperature-des-oceans/> : cartes en temps réel du champ de température des océans.

http://www.meteo-world.com/monde/ocean_temperature.php : cartes des anomalies de température à la surface des océans pour la prévision météorologique saisonnière, mais également des liens ouvrant sur des données météorologiques, tremblements de terre, etc.

Une aurore australe

La photographie de l'aurore polaire peut permettre à la fois d'utiliser les connaissances acquises lors des cours précédents sur l'excitation et la désexcitation des atomes et des molécules, et d'introduire l'interaction avec les particules solaires canalisées jusqu'aux régions polaires par le champ magnétique terrestre.

Sur le Web

De nombreux sites fournissent des explications sur les aurores polaires comme le site de l'observatoire de Paris : <http://www.lesia.obspm.fr/Le-phenomene.html>. D'autres proposent de superbes photographies : http://www.youtube.com/watch?v=Pv_nN9P6Bg

Un des thèmes des pages « Culture Scientifique et Citoyenne » explique ce phénomène et invite à compléter les renseignements apportés avec ceux donnés sur le site du CNES et avec le film sur les aurores boréales sur le site :

<http://www.universcience-vod.fr/media/651/satellite---aurores-boreales.html>

Les téléphones portables

L'effet sur la santé des ondes électromagnétiques (lignes haute tension, téléphones portables, antennes, etc.) est l'objet de nombreuses discussions et controverses. Les élèves connaissent ces discussions et les recommandations qui ont été publiées, notamment pour l'usage des téléphones portables, telles que l'utilisation d'une oreillette. Le débat permet de faire le point sur ces questions mais il peut être également l'occasion de relier les notions de propagation des ondes électromagnétiques avec les modifications du champ magnétique et du champ électrique en différents points de l'espace.

Un des thèmes des pages « Culture Scientifique et Citoyenne » précise le principe de l'émission, de la transmission et de la réception des messages dans un réseau de téléphonie sans fil.

Découvrir et réfléchir

Activité documentaire 1. Notion de champ

Commentaires

L'activité documentaire proposée a pour objectif d'introduire la notion physique de champ sur des exemples rencontrés soit dans la vie quotidienne soit dans un autre domaine d'enseignement. Cette activité peut être réalisée par les élèves en autonomie, les résultats étant par la suite mis en commun et discutés en classe.

La thermographie d'une maison dans son environnement proche fait écho aux préoccupations écologiques en matière d'énergie et les élèves y retrouveront des représentations déjà rencontrées. Le planisphère avec la représentation des plaques tectoniques permet de faire le lien avec ce sujet déjà étudié au collège et approfondi en Sciences de la Terre en 1^{ère} S.

Avec ces deux exemples choisis dans des contextes différents, les élèves abordent la notion de champ et travaillent sur les caractéristiques du champ en un point et sur une « vue d'ensemble » des propriétés de celui-ci. Ces deux exemples permettent également de mettre en évidence les différences entre un champ scalaire et un champ vectoriel. Les élèves ont ainsi à mettre en œuvre les modèles proposés.

Enfin, les élèves auront à faire une recherche sur les champs intervenant en météorologie et pourront, par ce biais, réinvestir leurs connaissances dans de nouvelles situations.

Réponses

1. Analyser les documents

a. et b. L'association échelle de couleurs/échelle de températures ne permet pas une évaluation très précise des températures aux différents points. Le tableau ci-dessous regroupe les résultats.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
-2°C	+2°C	5°C	-5°C

La température n'est pas constante sur toute la maison, mais certaines zones de température quasi uniformes existent (de couleur identique).

Les zones chaudes ou froides renseignent notamment sur la déperdition d'énergie vers l'extérieur, ce qui permet d'adapter l'isolation thermique.

c. La direction et le sens de déplacement des plaques Philippine et Amérique du Nord sont les mêmes.

d. Nazca : 7 cm vers l'Est, alors que la plaque Amérique du Sud se déplace en moyenne de 1 cm par an vers le Nord ; ces deux plaques voisines ne se déplacent pas dans la même direction.

Les séismes qui se produisent le long de la côte chilienne sont dus à un phénomène de subduction : la plaque Nazca s'enfonce sous la plaque Amérique du Sud.

2. Interpréter pour modéliser

a. Document 1 : champ de température. **Document 2** : champ de vitesse.

b. Représentation du champ de vitesse par un vecteur : la direction et le sens du vecteur sont ceux du déplacement de l'ensemble de la plaque, la longueur du vecteur est fonction de la valeur de la vitesse (elle dépend de l'échelle de représentation choisie, par exemple : 1 cm pour 1cm/an).

Plaque Amérique du Sud : direction Sud-Nord, sens vers le Nord, valeur représentée par 1 cm.
Plaque Nazca : direction Ouest-Est, sens vers l'Est, valeur représentée par 7 cm.

Remarque : comparer (et représenter) les vitesses moyennes de déplacement des plaques amène à faire le rapprochement avec les séismes récents (Nazca et Amérique du Sud au Chili ; Pacifique, Eurasie et Philippine pour le séisme du Japon).

Sur le Web

<http://www.geologie.ens.fr/~vigny/articles/Chili-Concepcion-Eq-1-FR.pdf>

Le site <http://www.meteo-world.com/> rubrique « Séismes », fournit des indications sur les séismes en cours ou récents.

3. Faire une recherche

Dans la dernière partie, en s'appuyant sur les données météorologiques fournies (ou qu'ils rechercheront), les élèves doivent réinvestir les nouvelles connaissances en faisant la distinction entre les champs scalaires de température et de pression, et le champ vectoriel de la vitesse du vent.

Remarque : divers sites de météorologie permettent d'accéder aux cartes de la température, de la pression et de la vitesse moyenne du vent pour une date et une zone géographique choisies.

Activité expérimentale 2. Exploration d'un champ magnétique

Commentaires

Cette activité a pour objectif de faire étudier aux élèves la topographie d'un champ vectoriel particulier : le champ magnétique d'un aimant droit.

Au cours de cette activité sont abordées les notions qui seront reprises en cours :

- l'objet-test pour la mise en évidence du champ ;
- les caractéristiques du champ en direction, sens, et valeur ;
- le vecteur champ et les lignes de champ.

Étape 1

Les élèves réalisent l'expérience décrite dans le **document 4** : ils disposent l'aimant droit sur une feuille de papier et repèrent sa position. Ils placent ensuite les aiguilles aimantées en plusieurs points de la feuille qu'ils ont préalablement définis (par exemple en deux points différents de l'axe de l'aimant, en deux points symétriques par rapport à cet axe, un point plus excentré, etc).

En répondant aux questions posées dans l'étape 1, les élèves sont amenés à faire des liens entre leurs observations expérimentales et les propriétés du champ magnétique et sa représentation en quelques points.

Sur la représentation qu'ils obtiennent, ils ont une première représentation des propriétés magnétiques de l'espace au voisinage de l'aimant.

Remarques :

- Les points ne doivent pas être trop proches de l'aimant pour que l'aiguille aimantée sur pivot ne se déplace pas vers l'aimant. Les élèves repèrent avec soin sur la feuille la direction et le sens de l'aiguille aimantée en chaque point choisi, puis ils placent correctement la sonde du teslamètre pour réaliser une mesure de la valeur du champ en chacun de ces points.
- Dans le texte de l'activité n'apparaissent pas les consignes pour réaliser les mesures avec le teslamètre qui pourront être données oralement.

Étape 2

Les élèves réalisent le spectre magnétique de l'aimant. Ils observent que le vecteur champ magnétique qu'ils ont tracé aux différents points apparaît tangent à la ligne de champ qui passe par le même point, ligne de champ qu'ils ont matérialisée avec la limaille de fer.

En conclusion, ils reproduisent le spectre magnétique de l'aimant droit qu'ils ont observé et généralisent la propriété du vecteur champ magnétique en le représentant en des points quelconques.

Les résultats de l'étape 2 complète la modélisation du champ magnétique sur l'espace plan environnant l'aimant droit.

Remarque : en cours ou en fin d'activité, les résultats de l'étape 2 peuvent être généralisés en montrant aux élèves un spectre magnétique à trois dimensions (on approche l'aimant droit d'une bouteille remplie de glycérine dans laquelle on a ajouté de la limaille de fer).



© Frédéric Hanoteau

Réponses

1. Observer

L'orientation de l'aiguille aimantée, comme la valeur du champ mesurée avec le teslamètre, dépendent du point choisi au voisinage de l'aimant.

2. Interpréter

a. Le champ magnétique est modifié par la présence de l'aimant : les aiguilles qui étaient toutes orientées dans la même direction et le même sens, tournent différemment selon le point où elles sont placées au voisinage de l'aimant.

b. Le champ magnétique est un champ vectoriel car il est caractérisé par une direction, un sens et une valeur.

c. La représentation dépend des positions relatives de l'aimant et des points (mais elle doit être faite avec soin).

3. Interpréter

En observant en superposition le spectre magnétique de l'aimant et les vecteurs champ représentés aux différents points, on note qu'en chaque point le vecteur champ apparaît tangent à la ligne de champ magnétique qui passe par ce point.

4. Conclure

Les élèves reproduisent l'allure des lignes de champ de l'aimant droit et dessinent le vecteur champ magnétique en différents points (en tenant compte des propriétés étudiées).

Activité expérimentale 3. Le champ magnétique terrestre

Commentaires

Les élèves connaissent l'existence du champ magnétique terrestre, ils connaissent la boussole et l'indication du Nord magnétique qu'elle donne. Par contre, ils ne connaissent pas tous les caractéristiques de valeur totale, d'inclinaison et de déclinaison qui n'ont pas été étudiées dans un cadre scolaire. Cette activité est l'occasion de les introduire avec un double point de vue local puis global.

Par ailleurs, il peut être très riche d'un point de vue scientifique de faire le lien entre les résultats des mesures étudiées dans cette activité et le modèle du champ magnétique d'un aimant droit incliné par rapport à l'axe polaire géographique (présenté dans le cours), en montrant à la fois l'intérêt et les limites de ce modèle simple.

Enfin, cette activité peut être l'occasion d'un travail harmonisé avec les Sciences de la Terre où les élèves étudient le paléomagnétisme et font référence aux inversions du champ magnétique terrestre.

Les parties **1.** et **2.** concernent une activité d'observation, d'interprétation et de modélisation du champ magnétique local. Ce sont la direction et le sens du vecteur champ magnétique (total), et donc l'inclinaison, qui sont travaillés ici.

Remarque : la valeur du champ magnétique terrestre étant très faible, elle n'est pas mesurable avec les teslamètres disponibles dans les lycées. Par ailleurs, la mesure de la déclinaison nécessite d'avoir des cartes locales adaptées. Aussi, dans cette première approche, nous avons limité l'étude des caractéristiques du champ magnétique terrestre à sa direction, son sens et l'évaluation de son inclinaison.

La détermination de la déclinaison et la valeur du champ magnétique terrestre fait l'objet de la troisième partie de l'activité. Nous avons choisi d'utiliser les cartes établies à l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) à partir des données recueillies par le satellite *Oersted* ; ces cartes sont disponibles également dans l'article « *Des magnétomètres scalaires pour l'espace pour cartographier le champ magnétique terrestre* » sur le site : http://www cea.fr/technologies/omnipresent_magnetisme.

L'objectif de la partie **3.** de l'activité est à la fois de compléter les données du champ local (**3.a.** et **3.b.**), mais également de considérer le champ magnétique terrestre à la surface du globe dans son ensemble (**3.c.**) et de permettre le lien avec le modèle du « barreau aimanté » présenté en cours aussi bien pour l'inclinaison que pour la valeur du champ magnétique.

Ainsi, à la question **3.c.** les élèves sont amenés à comparer l'inclinaison du champ magnétique dans les deux hémisphères et donc la position d'une aiguille aimantée montée sur étrier qui pointe vers le sol dans l'hémisphère nord et vers le ciel dans l'hémisphère Sud (le signe de l'inclinaison prend alors son sens). De même, ils peuvent relever l'augmentation de la valeur du champ magnétique entre l'Équateur et chacun des pôles.

Cette activité peut être initiée par un travail expérimental fait par les élèves travaillant en petits groupes et poursuivie par eux en autonomie. Un bilan des questions **3.b.** et **3.c.** utilisant les cartes peut être établi et discuté ensuite en commun.

Remarques

- Cette activité peut être exploitée lors de la modélisation du champ magnétique terrestre par le champ d'un aimant droit. Le champ magnétique des cartes montre des irrégularités que ne présente pas le modèle. Ceci peut amener à discuter des limites de ce modèle (cartes correspondant au modèle également disponible sur le site de l'IGPG).

- Il est également possible d'engager les élèves dans une recherche autonome des valeurs de I , D et B du lieu du lycée, valeurs disponibles sur le site :

<http://www.ngdc.noaa.gov/>

Ce travail nécessite de déterminer les coordonnées géographiques du lieu du lycée (voir pour cela des sites donnant les coordonnées GPS).

- Les exercices 23 et 29 sont complémentaires à cette activité (boussole et composante horizontale du champ magnétique terrestre – déclinaison magnétique)

Sur le Web

<http://www.ipgp.fr/pages/06030302.php> pour le magnétisme terrestre

Films conférence :

<http://www.insu.cnrs.fr/a2623,y-a-t-il-barreau-aimante-centre-terre.html>

<http://www.insu.cnrs.fr/a2610,terre-peut-elle-perdre-nord.html>

<http://www.insu.cnrs.fr/a2628,que-se-passe-t-il-lorsque-champ-magnetique-s-inverse.html>

Réponses

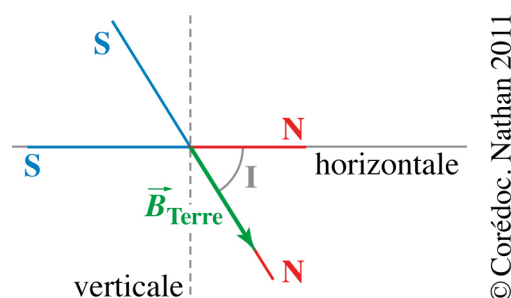
1. Observer

a. Les aiguilles s'orientent dans un même plan vertical, leur pôle Nord étant tourné dans le même sens.

b. La valeur de l'inclinaison dépend du lieu. Par exemple, $I = 64^\circ$ à Paris.

2. Modéliser

Voir le schéma ci-contre représentant les deux aiguilles aimantées (sur pivot et sur étrier) en un même point et le champ magnétique terrestre en ce point.



© Corédoc. Nathan 2011

3. Caractériser le champ magnétique terrestre

a. Après avoir repéré la position du lieu du lycée, on évalue l'inclinaison, la déclinaison et la valeur du champ magnétique en ce lieu.

Par exemple en France métropolitaine :

I	D	B_{Terre}
$\approx + 60^\circ$ $\vec{B}$ pointe vers la Terre	$\approx 0^\circ$	$\approx 50 \mu\text{T}$

b. Les deux valeurs de I sont en cohérence (il n'est pas possible sur les cartes d'avoir une meilleure précision).

c. Au niveau de l'équateur, l'inclinaison est pratiquement nulle (la courbe $I = 0$ se situe au voisinage de l'équateur). En se rapprochant du pôle Nord, I augmente : le vecteur champ magnétique terrestre s'incline de plus en plus vers la Terre et tend vers une valeur de 90° au pôle Nord. En se rapprochant du pôle Sud, le vecteur champ magnétique s'oriente de plus en plus vers le ciel.

Au niveau de l'équateur, sur la Terre, la valeur du champ est comprise entre 30 et 40 μT , cette valeur augmente en se déplaçant vers le pôle Nord (il en est de même en se déplaçant vers le pôle Sud).

Activité documentaire 4. La détermination de la charge élémentaire

Commentaires

Cette activité est prévue pour être réalisée par les élèves après l'étude du cours sur le champ électrique d'un condensateur.

Elle permet de faire un lien avec les connaissances des élèves sur les particules élémentaires, la découverte et la mesure de la valeur de la charge élémentaire. C'est la raison qui nous a fait débiter cette activité par des questions sur l'histoire de l'atome.

L'importance de la découverte de Millikan a été couronnée par le prix Nobel en 1923. Le texte de la présentation du lauréat et celui de la conférence de Millikan sont disponibles sur le site des prix Nobel de cette année-là :

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1923/

L'expérience historique de Millikan (qui peut être reproduite dans les lycées équipés du matériel *ad hoc*) ne peut être intégralement étudiée par des élèves du niveau de 1^{re} S qui n'ont pas les connaissances nécessaires (les questions de viscosité et de frottements fluides notamment, ne sont pas connues des élèves à ce niveau). Aussi nous avons proposé l'étude plus simple d'une goutte d'huile immobile dans le champ électrique régnant entre les deux plaques d'un condensateur plan.

Une animation (commentaires en anglais) est disponible sur le site :

<http://videophysique.blogspot.com/2010/06/experience-de-la-goutte-dhuile-de.html>

Elle permet de compléter le schéma proposé pour l'expérience et de faciliter la compréhension du principe de celle-ci.

Par ailleurs, nous n'avons pas donné de valeurs numériques qui auraient permis d'accéder par le calcul à la valeur de la charge q : en effet, dans cette expérience, on ne calcule pas explicitement la valeur de la masse d'une goutte, mais on accède directement à la charge de la goutte. Aussi avons-nous choisi, dans la question **3.d.**, de faire réfléchir les élèves sur les difficultés d'une telle expérience.

Réponses

1. Un peu d'histoire des sciences

1897 : Thomson établit l'existence de l'électron et calcule le rapport m/q . Son modèle d'atome correspond à ce qu'on appelle le « plum-pudding » dans lequel les électrons seraient intégrés.

1910 : Millikan établit l'existence d'une charge élémentaire et détermine sa valeur.

1911 : Rutherford découvre le noyau atomique chargé positivement et élabore le modèle planétaire de l'atome (noyau positif autour duquel tournent des électrons).

1913 : modèle de l'atome quantifié de Bohr.

1918 : découverte du proton par Rutherford.

(1932 : découverte du neutron par Chadwick.)

Sur le web

<http://www.diffusion.ens.fr/vip/tableA01.html>

2. Comprendre le texte

Le poids $\vec{P}$ de la goutte d'huile et la force électrique $\vec{f}$ due au champ électrique régnant entre les deux plaques sont les deux forces qui s'exercent sur une goutte immobile entre les plaques (en négligeant la poussée d'Archimède devant ces forces).

D'après le principe d'inertie, lorsque le système goutte est immobile entre les deux plaques, ces forces sont opposées. On a donc $\vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$.

Remarque : la force $\vec{f}$ a la direction du champ électrique $\vec{E}$, elle est donc perpendiculaire aux plaques, c'est-à-dire qu'ici elle est de direction verticale comme le poids $\vec{P}$. Par ailleurs elle est de sens opposé à $\vec{P}$, elle est donc orientée vers le haut.

3. a. La force $\vec{f}$ et le champ $\vec{E}$ sont de sens opposés, $\vec{f}$ étant orientée vers le haut, $\vec{E}$ est orienté de la plaque A vers la plaque B. La plaque A est donc chargée positivement, la plaque B négativement.

b. $\vec{f}$ et $\vec{P}$ ont même valeur soit $mg = |q|E$ soit $|q| = \frac{mg}{E}$.

Sachant que $q < 0$, on obtient $q = \frac{-mg}{E}$.

c. $E = \frac{U_{AB}}{d}$, on a donc $q = \frac{-mgd}{U_{AB}}$.

4. Pour déterminer la valeur de la charge q , si on néglige la poussée d'Archimède, il est nécessaire de connaître avec précision la valeur de la tension U_{AB} , de la distance d et de la masse m de la goutte.

Dans cette expérience, si U_{AB} et d peuvent être mesurés, la masse de la goutte étudiée n'est pas connue a priori, et n'est pas mesurable directement. Pourrait-on calculer cette masse aisément ? Oui, si l'on connaît le volume de la goutte et la masse volumique de l'huile. Or, dans cette expérience on ne peut pas mesurer directement les dimensions de la goutte d'huile (à noter par ailleurs que, si on veut faire une mesure précise de q , il faut également tenir compte de la poussée d'Archimède qui s'exerce sur la goutte et donc connaître le volume de la goutte d'huile).

L'étude de l'équilibre de la goutte n'est pas suffisante pour déterminer sa charge, il est nécessaire de la compléter en étudiant son mouvement.



© Corédoc. Nathan 2011

Exercices

Exercices d'application

5 minutes chrono !

1. Mots manquants

- a. scalaire
- b. aimants/courants
- c. aiguille aimantée
- d. électrostatique.
- e. uniforme/ parallèles.
- f. la verticale/la Terre
- g. gravitation/la Terre.

2 QCM

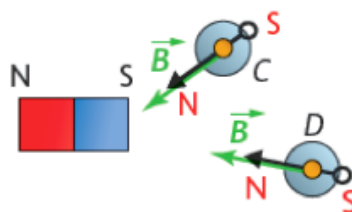
- a. vectoriel
- b. est identique dans tout l'espace de l'entrefer. En effet, lorsque dans un espace les lignes de champ sont parallèles, le champ magnétique est uniforme dans cet espace.
- c. est incliné vers la Terre.
- d. n'a pas le même sens lorsque la charge q change de signe. En effet, la force $\vec{F}$ qui s'exerce sur la charge q est liée au champ $\vec{E}$ par la relation $\vec{F} = q\vec{E}$. Comme $\vec{E}$ ne change pas si le signe de la charge q change, le sens de $\vec{F}$ change.
- e. a une valeur donnée par $E = \frac{U}{d}$ avec d distance entre les plaques.
- f. Le champ de gravitation est toujours dirigé vers la planète.

Mobiliser ses connaissances

Notion de champ (§1 du cours)

3. Température voisine de 19°C et vitesse du vent de direction Sud-Ouest et valeur 10 km.h⁻¹.
Le champ de température est scalaire, le champ de vitesse du vent est vectoriel.
Ces champs ne sont pas uniformes sur la zone couverte par la carte.

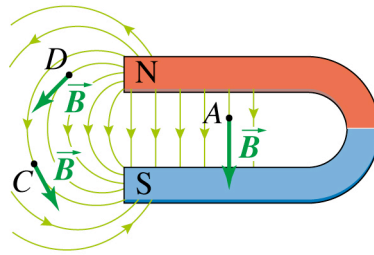
4. Au point C ou au point D , le vecteur champ $\vec{B}$ a la direction que prend de l'aiguille aimantée placée en ce point, son sens va du Sud au Nord à travers l'aiguille et son origine est au point C ou D . Le point D étant plus proche de l'aimant que le point C , la valeur de $\vec{B}$ est plus grande en D qu'en C .



© Nathan 2011. Réalisation : CORÉDOC.

Champ magnétique (§2 du cours)

5. a.

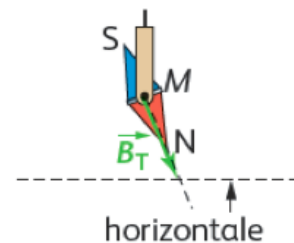


© Corédoc. Nathan 2011

b. Le champ magnétique est uniforme dans l'entrefer de l'aimant en U.

6. a. Le champ magnétique terrestre $\vec{B}_T$ est représenté par un vecteur de direction l'aiguille aimantée et dont le sens va du Sud au Nord à travers l'aiguille.

b. Le plan vertical de l'aiguille est le plan méridien magnétique.

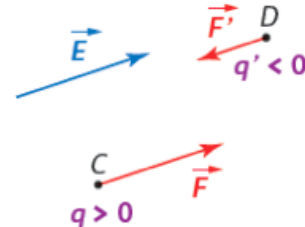


© Nathan 2011. Réalisation : CORÉDOC.

Champ électrostatique (§3 du cours)

7. a. $\vec{F} = q\vec{E}$.

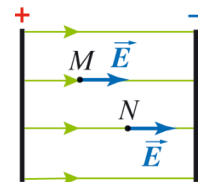
b. Force et champ $\vec{E}$ ont même direction ; si $q > 0$ alors $\vec{E}$ et $\vec{F}$ ont même sens ; si $q < 0$ alors $\vec{E}$ et $\vec{F}$ sont de sens opposés. Si $|q| > |q'|$, alors $|q|E > |q'|E$ et donc $F > F'$.



© Nathan 2011. Réalisation : CORÉDOC.

8. a. À l'intérieur d'un condensateur plan, les lignes de champ sont perpendiculaires aux plaques et le champ électrique y est uniforme. Les lignes de champ sont orientées vers la plaque négative.

b. En M et N, le vecteur représentant le champ électrique est perpendiculaire aux plaques, il a le sens de la plaque + vers la plaque – et a la même valeur $E(M) = E(N)$.



© Corédoc. Nathan 2011

Gravitation et pesanteur (§4 du cours)

9. $\vec{F} = m\vec{g}$.

Utiliser ses compétences

10. Dans le domaine de la vie quotidienne

Aimants pour attraper, fixer etc., boussoles, disques magnétiques des ordinateurs, clés et cartes magnétiques, tables chauffantes à induction, train en lévitation magnétique (Japon).

Dans le domaine de la santé

IRM imagerie par résonance magnétique, nano-aimants pour le transport des médicaments in situ.

Dans les grands instruments scientifiques

Les cyclotrons, le Large Hadron Collider (LHC), ITER.

Sur le Web

http://www.louisneel-centenaire.inpg.fr/article.php3?id_article=53

http://www.cea.fr/technologies/omnipresent_magnetisme

<http://www.sciencetech.technomuses.ca/francais/schoolzone/basesuraimant.cfm>

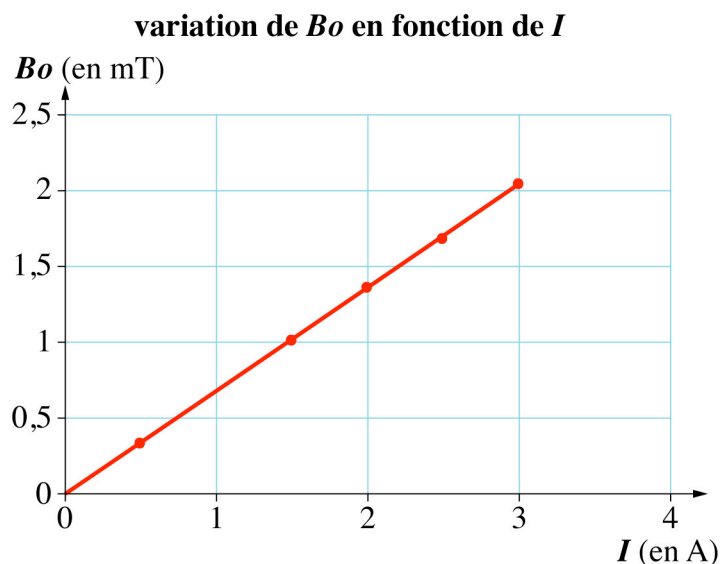
11. a. Champ de gravitation de la Terre à l'altitude du satellite :

$$\mathcal{G} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{(6,38 \times 10^6 + 3,6 \times 10^7)^2} = 0,22 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

b. À la surface de la Terre :

$$\mathcal{G}_0 = g = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{(6,38 \times 10^6)^2} = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$
$$\frac{\mathcal{G}_0}{\mathcal{G}} = 45$$

12. Les points expérimentaux sont pratiquement alignés sur une droite passant par l'origine.
La relation entre B_0 et I est : $B_0 = 0,68 \times 10^{-3} I$ avec I en ampère et B en tesla.



© Corédoc. Nathan 2011

13. a. Le champ électrique entre les deux plaques A et B d'un condensateur plan est uniforme. Le vecteur $\vec{E}$ est de direction orthogonale aux plaques, il est orienté de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement.

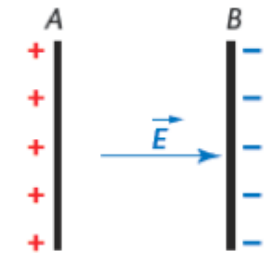
Sa valeur est donnée par la relation :

$$E = \frac{U_{AB}}{d} \text{ soit ici } E = \frac{10^3}{10^{-2}} = 10^5 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}.$$

b. La relation vectorielle entre le champ $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{f}$ qui s'exerce sur une particule portant une charge q est : $\vec{f} = q\vec{E}$.

Dans le cas d'un électron, la charge q est négative. La force $\vec{f}$ a la même direction que $\vec{E}$ (perpendiculaire aux plaques) mais son sens est inverse de celui de $\vec{E}$: il va donc de la plaque chargée négativement vers la plaque chargée positivement.

Sa valeur est donnée par la relation $f = |q|E$ soit $f = 1,6 \times 10^{-19} \times 10^5 = 1,6 \times 10^{-14} \text{ N}$.



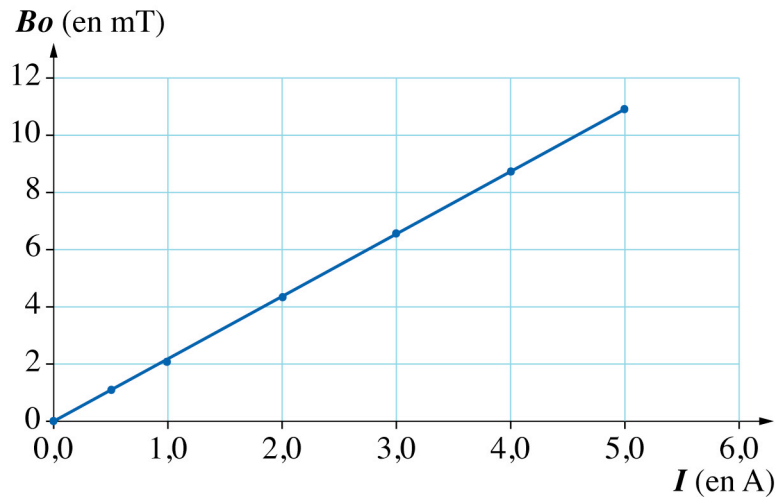
© Nathan 2011.
Réalisation : CORÉDOC.

Exercices d'entraînement

14. Exercice résolu

15. a. Direction et sens indiqués par l'aiguille de la boussole donc perpendiculaire au plan de la bobine.

b.



© Corédoc. Nathan 2011

c. $B_0 = 2,2 \times 10^{-3} \times I$ (avec B_0 en T et I en A).

16. a. Stockage de données pour les enregistrements vidéo et audio, les disques durs d'ordinateurs.

b. Jusqu'à un ordre de grandeur de 10^{-8} m .

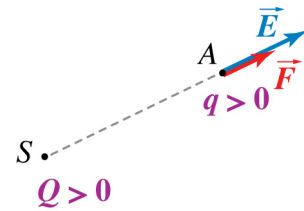
c. Des médicaments peuvent être liés aux particules magnétiques et amenés exactement à l'endroit voulu du corps (déplacement des nano aimants par un champ magnétique).

<http://www.nanotoxico.be/les-nanos-pour-tous/applications-1/les-nanos-dans-le-secteur-biomedical>

17. Cas 1 : la charge q est positive

En utilisant la loi de Coulomb entre le solide S portant la charge Q et l'objet-test portant la charge q , on établit la direction et le sens de la force $\vec{F}$.

De la relation entre la force électrostatique $\vec{F}$ qui s'exerce sur l'objet-test placé en A et le champ $\vec{E}$ qui règne au point A , on déduit la direction et le sens de $\vec{E}$.

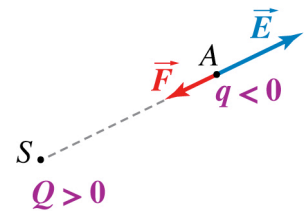


© Corédoc. Nathan 2011

Cas 2 : la charge q est négative

La force électrostatique exercée par S sur l'objet-test change de sens.

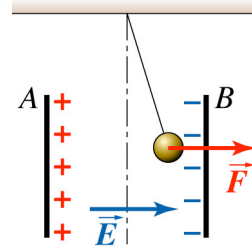
Le champ électrostatique en A n'est pas modifié.



© Corédoc. Nathan 2011

18. a. Entre les deux plaques, le champ électrostatique est uniforme de direction orthogonale aux plaques et orienté de la plaque A (+) vers la plaque B (-).

b. La force $\vec{f} = q\vec{E}$ a même direction que $\vec{E}$ mais son sens dépend du signe de q . Ici, la force $\vec{f}$ a un sens de A vers B , comme $\vec{E}$ donc $q > 0$.



© Corédoc. Nathan 2011

19. a. La force de gravitation $\vec{F}$ qui s'exerce sur l'objet-test de masse m placé en A a pour direction la droite joignant le point au centre de Mars, elle est orientée vers Mars et a pour valeur $F = \frac{GmM_{\text{Mars}}}{R_{\text{Mars}}^2}$.

b. La force $\vec{F}$ et le champ de gravitation en A sont liés par $\vec{F} = m\vec{g}_{\text{Mars}}$.

$\vec{g}_{\text{Mars}}$ a la même direction et le même sens que $\vec{F}$ et sa valeur est $g_{\text{Mars}} = \frac{F}{m}$.

c. $g_{\text{Mars}} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 0,642 \times 10^{24}}{(3,4 \times 10^6)^2}$; $g_{\text{Mars}} = 3,70 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

d. Le champ n'est pas uniforme car il change de direction.

20. Ce dessin n'est pas correct, en effet si les lignes de champ se coupaient en un point A , il existerait en ce point deux champs magnétiques différents (chacun étant tangent à une des lignes de champ).

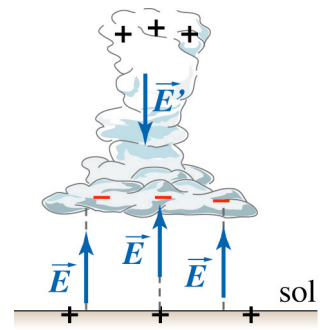
21. a. Voir schéma ci-contre.

b. Isolant : air atmosphérique.

Représentation du champ $\vec{E}$ et des lignes de champ (sur le schéma, les lignes de champ apparaissent en pointillés gris).

c. Compte tenu de la répartition des charges à l'intérieur du nuage, il existe un champ électrique. La représentation qui en est faite est simplement indicative et ne reflète pas la complexité de la situation.

http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/XML/db/csp physique/metadata/LOM_CSP_QRorages.xml

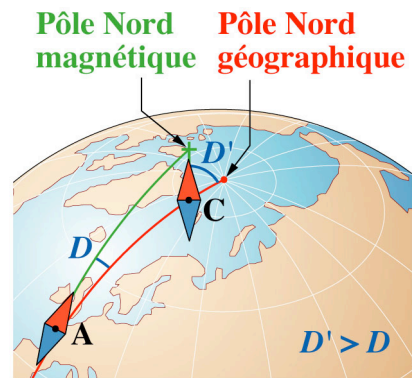


© Corédoc. Nathan 2011

22. a. Valeur de la déclinaison en janvier 2011 à :

- Mimizan : 1°10' Ouest ;
- Porquerolles : 0°56' Est.

b. En prenant deux points A et C de même longitude mais de latitude différente, dans un même hémisphère, l'angle entre la direction du Nord géographique et le Nord magnétique donné par l'aiguille aimantée est différent (voir schéma).

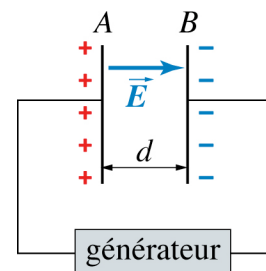


© Corédoc. Nathan 2011

23. a. Voir schéma ci-contre.

b. $E = \frac{U_{AB}}{d}$ soit $E = \frac{3600}{0,10} = 3,6 \times 10^4 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.

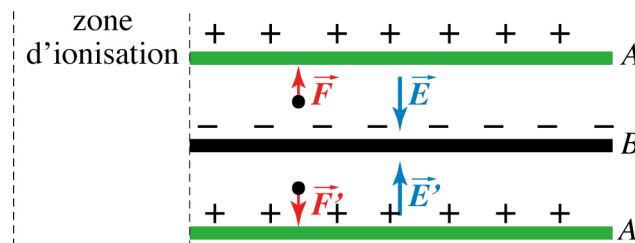
c. Quand on rapproche les plaques, la valeur du champ augmente (la valeur de U_{AB} n'est pas modifiée et celle de d diminue).



24. 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.



© Corédoc. Nathan 2011

Exercices de synthèse

25. a. Exprimer la valeur $\mathcal{G}_0$ du champ de gravitation de la Terre en un point de sa surface.
En un point de sa surface, la valeur du champ de gravitation de la Terre est :

$$\mathcal{G}_0 = \frac{GM_T}{R_T^2}$$

b. Exprimer la valeur $\mathcal{G}$ du champ de gravitation en point A situé à l'altitude h au-dessus de la Terre.

À l'altitude h au-dessus de la Terre la valeur $\mathcal{G}$ du champ de gravitation est :

$$\mathcal{G} = \frac{GM_T}{(R_T + h)^2}$$

c. On pose $x = \frac{h}{R_T}$. Vérifier que le rapport $\frac{(\mathcal{G}_0 - \mathcal{G})}{\mathcal{G}_0}$ peut s'exprimer

$$\text{par } \frac{(\mathcal{G}_0 - \mathcal{G})}{\mathcal{G}_0} = 1 - \frac{1}{(1+x)^2}.$$

Le rapport $\frac{(\mathcal{G}_0 - \mathcal{G})}{\mathcal{G}_0}$ peut s'exprimer par : $\frac{(\mathcal{G}_0 - \mathcal{G})}{\mathcal{G}_0} = 1 - \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2} = 1 - \frac{1}{(1+x)^2}.$

d. Calculer la valeur de x puis la valeur de h pour $\frac{(\mathcal{G}_0 - \mathcal{G})}{\mathcal{G}_0} = 0,1\%$. Conclure.

Pour $\frac{(\mathcal{G}_0 - \mathcal{G})}{\mathcal{G}_0} = 0,1\% = 10^{-3}$ on obtient : $1 - \frac{1}{(1+x)^2} = 10^{-3}.$

$$1 - 10^{-3} = \frac{1}{(1+x)^2} \rightarrow \frac{999}{1000} = \frac{1}{(1+x)^2} \rightarrow (1+x) = \sqrt{\frac{1000}{999}}.$$

$$x = 5 \times 10^{-4}.$$

On en déduit $h = 3,2$ km.

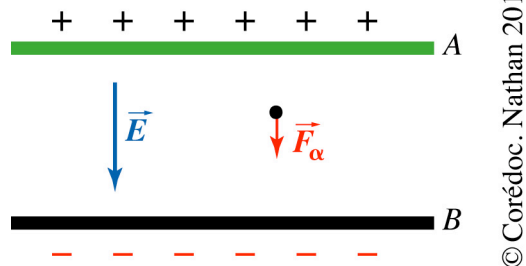
Cette valeur à notre échelle paraît importante mais par rapport aux dimensions de la Terre elle ne représente que $5 \times 10^{-4} = 1/2000$ du rayon de la Terre.

26. a. Voir schémas ci-dessous.

b. Cas d'une particule α :

$$\vec{F}_\alpha = q\vec{E} \text{ avec } q > 0.$$

La particule est déviée vers le bas et arrivera en dessous de O' .

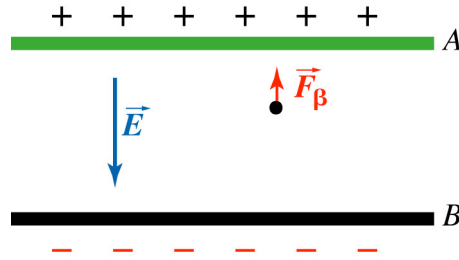


© Corédoc. Nathan 2011

c. Cas d'une particule β^- :

$$\vec{F}_\beta = q \vec{E} \text{ avec } q < 0.$$

La particule est déviée vers le haut et arrivera au-dessus de O' .



© Corédoc. Nathan 2011

d. $\vec{f}_\alpha = 2e\vec{E}$ et $\vec{f}_\beta = -e\vec{E}$, on a donc pour les valeurs des forces :

$$f_\alpha = 2 f_\beta$$

27. a. Le vecteur $\vec{\mathcal{G}}_S(A)$ 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

$$R_S = 696 \times 10^6 \text{ m.}$$

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

b. Le vecteur $\vec{\mathcal{G}}_S(B)$ 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 : $\mathcal{G}_S(B) = \frac{GM_S}{d^2}$.

$$d = 150 \times 10^9 \text{ m donc } \mathcal{G}_S(B) = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 2 \times 10^{30}}{(150 \times 10^9)^2} \text{ soit } \mathcal{G}_S(B) = 5,9 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

c. Le champ de gravitation à la surface de la Terre $\vec{\mathcal{G}}_T(B)$ a une valeur de l'ordre de $10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$, elle est donc environ 2 000 fois plus importante que celle de $\vec{\mathcal{G}}_S(B)$.

28. a. Le pivot permet à l'aiguille de tourner autour d'un axe vertical, mais pour que l'aiguille reste horizontale, il faut alourdir son pôle Sud ou déplacer la position du pivot.

b. $B_H = B_{\text{Terre}} \cos I$ soit $B_H = 21 \mu\text{T}$.

c. Dans l'hémisphère Sud, le champ magnétique terrestre pointe vers le ciel : le pôle Nord d'une aiguille aimantée montée sur étrier pointerait donc vers le ciel. Pour que l'aiguille de la boussole reste horizontale il faut donc alourdir ce pôle Nord. Les boussoles de l'hémisphère Nord ne sont donc pas identiques aux boussoles de l'hémisphère Sud. Les marins n'utilisent pas de boussoles sur pivot mais des compas de marine.

29. a. La valeur de 11,7 T pour un champ magnétique est parmi les plus grandes valeurs actuellement créées (IRM à haut champ 3 T, à très haut champ 7 T) et représente $2,3 \times 10^5$ fois la valeur du champ magnétique terrestre.

b. Réalisation des bobines de l'électro-aimant avec des milliers de kilomètres de fil supraconducteur (niobium-titane NbTi), qui n'offre aucune résistance au passage du courant (celui ayant une intensité du courant pouvant atteindre 1 500 A).

Le supraconducteur doit être maintenu à très basses températures (1,8 K) : les bobines baignent dans de l'hélium superfluide.

De nombreux points traités dans l'article du site proposé (pages 33 à 35) peuvent être discutés, comme l'homogénéité du champ sur le volume centré sur le cerveau, le nécessaire confinement du champ magnétique ou encore les questions liées à la cryogénie.

30. a. $\mathcal{G} = \frac{GM_{\text{TN}}}{R^2}$ avec la masse du trou noir moyen $M_{\text{TN}} = 10M_{\text{S}}$ et R le rayon du trou noir.

$$\mathcal{G} = \frac{G \times 10M_{\text{S}}}{R^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 10 \times 2 \times 10^{30}}{(30 \times 10^3)^2} = 1,5 \times 10^{12} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

b. $\mathcal{G}_{\text{S}} = \frac{GM_{\text{S}}}{R_{\text{S}}^2}$ avec $M_{\text{S}} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$, $R_{\text{S}} = 696 \times 10^6 \text{ m}$.

$$\mathcal{G}_{\text{S}} = 274 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ donc } \frac{\mathcal{G}}{\mathcal{G}_{\text{S}}} = 5,4 \times 10^9.$$

Le champ de gravitation du trou noir à sa « surface » est environ 5 milliards de fois plus important que celui du Soleil à sa surface.
