

Interactions fondamentales

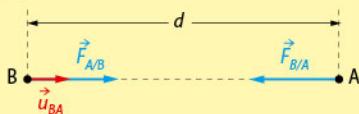
Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Une action mécanique est modélisée par une **force**. La force est une **grandeur vectorielle**.
- Principe des actions réciproques (3^e loi de Newton). Lorsqu'un système A exerce une action mécanique sur un système B, alors le système B exerce une action mécanique réciproque sur A ; ces actions sont modélisées par des forces telles que :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

Ces forces ont **même direction, même valeur mais sont de sens opposé**.



- La **force d'interaction gravitationnelle** modélise l'interaction à distance entre deux systèmes A et B de masses respectives m_A et m_B :

expressions vectorielles des forces modélisant l'interaction entre A et B (valeur de F en N) masses de A et B (en kg)

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = G \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \vec{u}_{BA}$$

constante de gravitation universelle $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ distance entre A et B (en m)
vecteur unitaire porté par la droite (AB) orienté de B vers A

- Le **poids \vec{P}** d'un système modélise l'action à distance de l'astre attracteur à proximité.

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

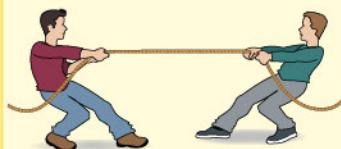
expression vectorielle du poids d'un système (valeur de P en N) champ de pesanteur (valeur de la pesanteur g en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$)
masse de l'objet (en kg)

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

Le tir à la corde est un jeu qui consiste à entraîner son adversaire au-delà d'une limite.



Comment représenter les forces qui modélisent l'action mécanique qu'exercent les deux joueurs sur la corde ?

SITUATION 2

La Lune, soumise à l'attraction gravitationnelle de la Terre, gravite autour de celle-ci.

Peut-on dire que l'une des deux forces modélisant l'interaction gravitationnelle possède une valeur plus élevée que l'autre ?



et notion de champ



Des gouttelettes chargées négativement se créent pendant un orage.
Comment expliquer que ce phénomène soit à l'origine des éclairs ?

EXERCICE 40

NOTIONS ET CONTENUS

- ▶ Charge électrique, interaction électrostatique, influence électrostatique. Loi de Coulomb.
- ▶ Force de gravitation et champ de gravitation.
- ▶ Force électrostatique et champ électrostatique.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- ▶ Illustrer l'interaction électrostatique → ACTIVITÉ 2
- ▶ Cartographier un champ électrostatique
→ ACTIVITÉ 3

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information

(AN/RAI) Formuler des hypothèses

Champ de gravitation terrestre

La mesure précise du champ de gravitation de la Terre exige l'utilisation de satellites. Comment peut-on représenter ce champ de gravitation ?

DOC 1 Gravimétrie spatiale

Le GOCE (*Gravity field and steady state Ocean Circulation Explorer*) est le premier satellite d'étude de la gravité terrestre lancé par l'ESA (Agence spatiale européenne). Pour effectuer sa mission, ce satellite doit se situer sur une orbite d'altitude relativement faible (seulement 250 km). Le problème est qu'à une telle hauteur, il est soumis au frottement de l'air résiduel, ce qui justifie sa forme aérodynamique et la présence de petits moteurs pour le maintenir sur son orbite.

L'objectif est la collecte d'informations précises sur le champ de gravitation de la Terre grâce à des accéléromètres de grande sensibilité qui mesurent la « gravitation » en différents points de l'orbite du satellite. Le champ gravitationnel ainsi mesuré est donné avec une précision sans précédent, de l'ordre de $1 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Les informations récoltées permettent d'établir une première approche du champ de gravitation. En revanche, la carte obtenue ne traduit pas le caractère centripète de ce champ.

DOC 3 Légère variation de l'intensité du champ de pesanteur à la surface de la Terre

À la surface de la Terre pour une même distance de son centre, l'intensité du champ de pesanteur est uniforme et définie avec la valeur de $9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

La Terre n'est pas tout à fait ronde. En effet, elle est écrasée au niveau des pôles. L'intensité de la pesanteur est de $9,83 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ aux pôles et de $9,78 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ à l'équateur où la surface est plus éloignée du centre de la Terre.

Pour des altitudes différentes, la variation d'intensité du champ de pesanteur est notable : sa valeur n'est plus que de $9,78 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ au sommet de l'Everest.

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Pourquoi en première approximation, on peut confondre champ de gravitation et champ de pesanteur ?

2 a. Avec quelle unité est exprimée le champ de gravitation ?

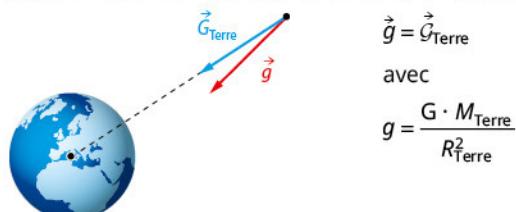
b. Quelles sont les grandeurs qui font varier sa valeur ?

c. Laquelle peut-on négliger ?

DOC 2 Champ de pesanteur et champ de gravitation

La verticale d'un lieu est donnée par la direction d'un fil à plomb. Étant donné le mouvement de rotation de la Terre, le fil à plomb n'est en fait pas exactement dirigé vers le centre de la Terre.

Le champ de pesanteur \vec{g} étant dirigé selon la verticale d'un lieu et le champ de gravitation \vec{G} dans une direction passant par le centre de la Terre, les deux champs ne sont pas rigoureusement identiques. Cependant, en première approximation au voisinage de la Terre, on peut écrire :



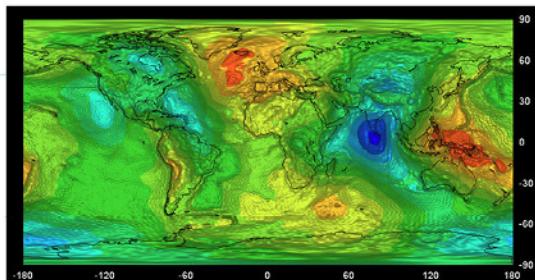
$$\vec{g} = \vec{G}_{\text{Terre}}$$

avec

$$g = \frac{G \cdot M_{\text{Terre}}}{R_{\text{Terre}}^2}$$

DOC 4 Effets des écarts de la densité du sous-sol sur le champ de gravitation terrestre

La Terre ne possède pas une masse homogène, ce qui entraîne des effets locaux sur l'intensité du champ de gravitation. Sur la carte ci-dessous les zones en jaune et orange indiquent une intensité du champ de gravitation plus élevée tandis que les zones bleues une intensité plus faible. Ces variations restent néanmoins très faibles de l'ordre de quelques $\text{mN} \cdot \text{kg}^{-1}$.



3 a. Pourquoi peut-on qualifier le champ de gravitation de champ « vecteuriel » ?

b. Quels sont la direction et le sens du champ de gravitation ?

SYNTHÈSE

Modéliser la Terre par un point et représenter le champ de gravitation en son voisinage avec une représentation qui tient compte de l'ensemble de ses caractéristiques.

2. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

RÉA) Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

AN/RAI) Faire des prévisions à l'aide d'un modèle

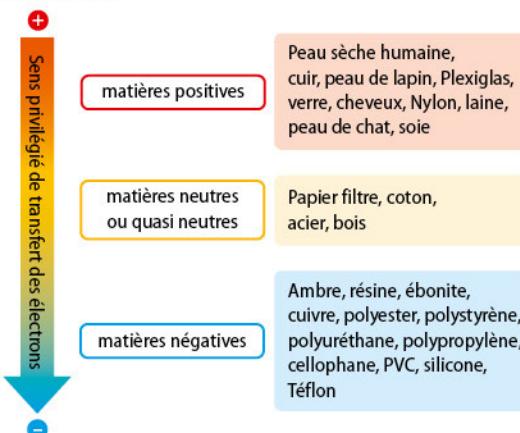
Interaction et influence électrostatiques

Les expériences d'électrostatique sont à la fois faciles à mettre en œuvre et spectaculaires.
Mais comment les interpréter ?

DOC 1 Principe d'électrisation d'un objet

Une des méthodes d'électrisation consiste à frotter un objet d'une certaine matière avec un objet d'une autre matière afin d'arracher des électrons.

L'ensemble des comportements électriques d'objets de différentes matières qui seraient électrisés par frottements entre eux peuvent être regroupés dans un diagramme de préférences de transfert d'électrons. Plus une matière est positionnée en haut du diagramme plus l'objet constitué par celle-ci aura tendance à perdre des électrons par frottements et donc à se charger positivement.



Ainsi, si on frotte une tige en verre avec de la peau de chat, comme le verre est au-dessus de la peau de chat dans le diagramme ci-dessus, la tige en verre va se charger positivement : la peau de chat va en effet lui arracher des électrons pour se charger, elle, négativement.

EXPÉRIMENTATION ET ANALYSE

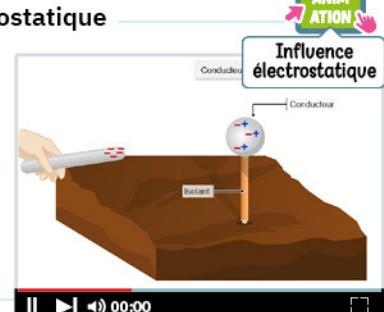
On utilisera de la laine pour électriser des pailles en polypropylène et un bâton en Plexiglas.

- 1 a.** Qu'observe-t-on quand on approche deux pailles électrisées ? Un bâton en Plexiglas d'une paille électrisée ?
b. Pour chaque situation, faire un dessin en faisant apparaître les charges sur les objets.

- 2 a.** Produire un fin filet d'eau. Qu'observe-t-on quand on y approche une paille électrisée ? un bâton en Plexiglas ?
b. Pour chaque situation, faire un dessin en faisant apparaître les charges sur l'objet et l'orientation des molécules d'eau.

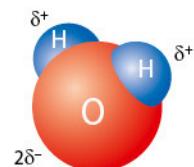
DOC 2 Influence électrostatique

Lorsqu'on approche un objet chargé d'un objet conducteur, on observe à la surface de celui-ci une modification de la répartition des charges sans qu'il y ait contact entre les deux objets.



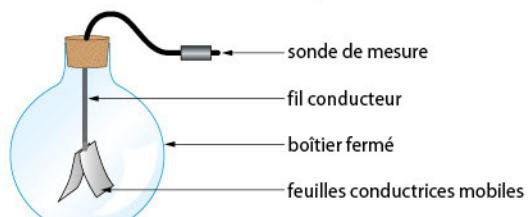
DOC 3 Polarité de la molécule d'eau

Dans la molécule d'eau, les électrons ne sont pas répartis uniformément. Ce déséquilibre se traduit par un atome d'oxygène chargé négativement et des atomes d'hydrogène chargés positivement.



DOC 4 L'électroscopie

Un électroscopie permet de mettre en évidence le phénomène d'influence électrostatique.



- 3 a.** Qu'observe-t-on quand on approche une paille électrisée de la sonde de l'électroscopie sans la toucher ? Un bâton en Plexiglas ?

- b.** Pour chaque situation, faire un dessin en faisant apparaître les charges sur l'objet et les feuilles conductrices de l'électroscopie.

Je réussis si...

- Je détermine le signe de la charge électrique d'un objet frotté.
- Je mets en évidence les déplacements de charges électriques au sein d'un objet.
- Je sais interpréter le phénomène d'influence électrostatique.

SYNTHESE

Définir les termes suivants : « électrisation », « interaction électrostatique » et « influence électrostatique ».

3. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

- (RÉA) Mettre en œuvre les étapes d'une démarche
(VAL) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Cartographier un champ électrostatique

Il n'est pas évident de se représenter un champ électrostatique. Comment mettre en évidence l'existence d'un champ électrostatique et le cartographier ?

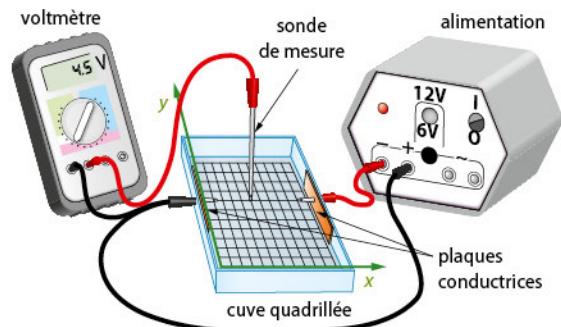
DOC 1 Tube de Crookes

Le tube de Crookes est muni de deux plaques conductrices parallèles en regard l'une de l'autre. L'animation ci-dessous en présente le principe.



DOC 2 Montage expérimental

Le montage suivant permet de mesurer la tension entre les deux plaques de cuivre en regard l'une de l'autre. La cuve quadrillée est remplie d'une solution de sulfate de cuivre, les plaques sont reliées à une alimentation stabilisée (6 V).



VOCABULAIRE

- **Équipotentielle** : une équipotentielle d'un champ électrique est l'ensemble des points où la tension électrique prend la même valeur.
► **Cartographier** : établir une représentation de l'ensemble des lignes de champ.

DOC 3 Quelques propriétés des lignes de champ

Les lignes de champ électrostatique sont partout perpendiculaires aux équipotentielles.

La valeur du champ électrostatique E (en $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$) entre deux armatures chargées en regard l'une de l'autre se détermine par la relation : $E = \frac{U}{x}$ avec U tension entre l'armature située en $x = 0$ et la sonde de mesure située en x .

ANALYSE ET MESURE

On étudiera dans cette activité la situation de deux armatures chargées en regard l'une de l'autre.

1 a. En utilisant le **document 1**, justifier, avec le faisceau d'électrons, le signe des charges accumulées sur chaque armature.

b. En déduire le sens des lignes de champ présentes entre les armatures.

Effectuer le montage indiqué dans le **document 2**. Lors des mesures, il est important de tenir la sonde bien verticale. Vérifier que les armatures sont des surfaces équipotentielles.

En éloignant la sonde de la plaque, placer celle-ci sur les différents points d'intersection du quadrillage de la cuve. Relever les coordonnées et la tension électrique pour chaque point.

2 a. Représenter les lignes équipotentielles.
b. En déduire le tracé du champ électrostatique.

c. Finir de cartographier le champ électrostatique en calculant son intensité en différents points du tracé.

d. Que constate-t-on pour la valeur du champ électrostatique ?

SYNTHÈSE

3 Comment qualifier le champ électrostatique régnant entre les armatures chargées ?

Je réussis si...

- Je sais trouver le signe des charges électriques accumulées sur les armatures.
- Je trouve et exploite les informations nécessaires pour tracer les équipotentielles et lignes de champ électrostatique.
- Je sais calculer l'intensité du champ électrostatique en chaque point.

4. TÂCHE COMPLEXE

COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information

(COM) Utiliser un vocabulaire adapté

Charges électriques et interaction électrostatique

LE PROBLÈME À RÉSOUVRE

Il existe des expériences d'électrisation qui permettent de faire dresser les cheveux sur la tête d'une personne qui doit être isolée du sol.

Comment expliquer ce phénomène d'électrisation dans les conditions décrites ?

COUP DE POUCE ➔ p. 423



DOC 1 Expérience de l'électroscope

L'animation détaillée de l'électroscope permet de comprendre le déplacement des charges électriques et la répulsion.

Électrisation par influence

Electroscope

ANIMATION

L'électroscope, électrisation par influence

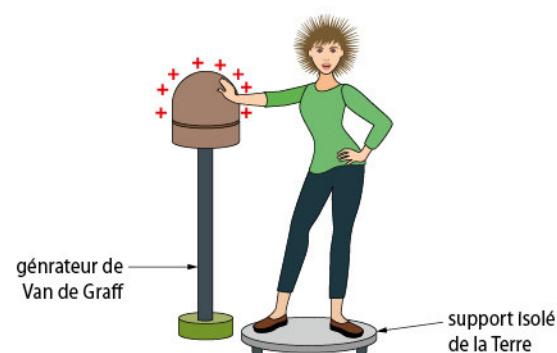
Charges positives (immobiles)

Charges négatives (libres)

00:00

DOC 3 Schéma de la situation

L'expérience d'électrisation d'une personne peut être schématisée de la manière suivante :

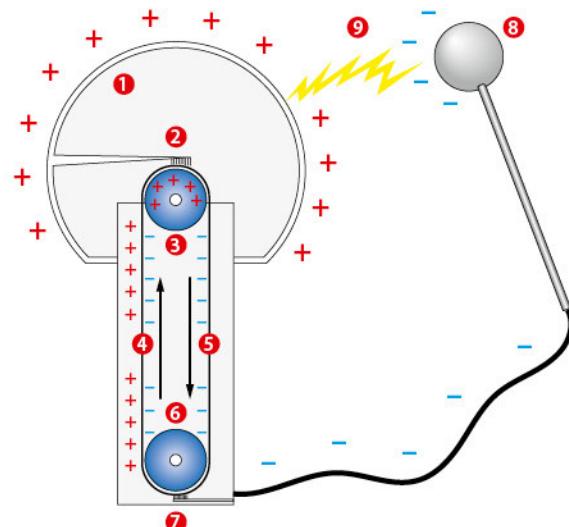


VOCABULAIRE

► **Électriser** : communiquer à un objet des charges électriques.

DOC 2 Générateur Van de Graff

Le générateur de Van de Graff permet d'électriser une demi-sphère avec une quantité de charge importante. Une bande en caoutchouc frotte sur un peigne métallique qui emmène les charges électriques au niveau de la sphère.



- ① Sphère creuse chargée positivement
- ② Peigne au contact de la courroie
- ③ Poulie en Nylon
- ④ Courroie chargée positivement
- ⑤ Courroie chargée négativement
- ⑥ Poulie en Teflon dont l'axe est entraîné par un moteur électrique
- ⑦ Peigne récupérant les charges négatives
- ⑧ Petite sphère chargée négativement, utilisée pour décharger la demi-sphère
- ⑨ Arc électrique qui se produit lorsque la petite sphère est proche de la grande demi-sphère

Je réussis si...

- Je sais interpréter le déplacement des charges électriques.
- Je sais que deux charges électriques de même signe se repoussent.



1 Interaction électrostatique

► La charge électrique

La charge électrique est une propriété intrinsèque de la matière au même titre que la masse. Elle est portée par des particules élémentaires comme, par exemple, l'électron ou le proton (FIG. 1).

La **charge électrique** est notée q et son unité est le Coulomb (C).

La **charge élémentaire** est notée e : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

De nombreuses expériences, dont notamment celle réalisée en 1909 par le célèbre physicien américain P. Millikan, montrent que la charge d'un système ne peut varier que par multiples de charges élémentaires e . La charge totale d'un système est toujours un multiple entier relatif de la charge élémentaire.

► Influence électrostatique

Le phénomène de l'électrisation d'un corps est connu depuis longtemps. Dès l'antiquité, Thalès (vII^e siècle avant J.-C.) avait constaté que l'ambre attire après frottements des corps légers. Cette expérience est reproduite de nos jours avec une simple règle en plastique frottée avec de la laine et de petits morceaux de papier (FIG. 2).

Un objet chargé électriquement engendre, à distance, un **déplacement de charge** à la surface d'un conducteur placé à proximité (FIG. 3).

Le phénomène d'influence électrostatique ne modifie pas la charge totale d'un système isolé électriquement, mais modifie uniquement la répartition des charges sur sa surface.

► Force électrostatique (loi de Coulomb)

L'influence électrostatique met en évidence l'interaction entre les charges qui peut se modéliser par la loi de Coulomb.

L'**interaction** qui existe entre deux objets A et B possédant respectivement une charge électrique q_A et q_B peut se modéliser par des forces électrostatiques dont l'expression, appelée aussi **loi de Coulomb**, est :

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = k \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \hat{u}_{BA} \quad (\text{FIG. 4})$$

avec $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$; q_A et q_B en coulomb (C) ; d est la distance en mètre (m) séparant les deux charges électriques ; \hat{u}_{BA} est un vecteur unitaire.

Deux charges de signe différent s'attirent. Deux charges de même signe se repoussent (FIG. 4).

► Analogies entre deux forces fondamentales

La force de gravitation, vue en classe de seconde, possède des analogies avec la force électrostatique. Un résumé de ces similitudes est donné dans le tableau ci-après.

Particules	Masse (en kg)	Charge (en C)
Électron	$9,1 \times 10^{-31}$	$-1,6 \times 10^{-19}$
Proton	$1,673 \times 10^{-27}$	$+1,6 \times 10^{-19}$
Neutron	$1,675 \times 10^{-27}$	0

FIG. 1 Exemples de particules élémentaires.



FIG. 2 La règle attire à distance des morceaux de papier.

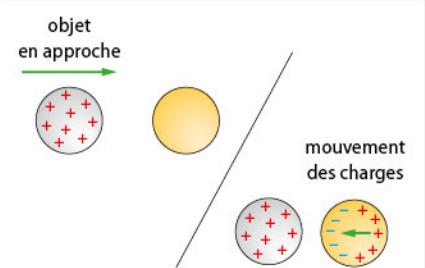


FIG. 3 Déplacement des charges dans un conducteur par influence électrostatique.

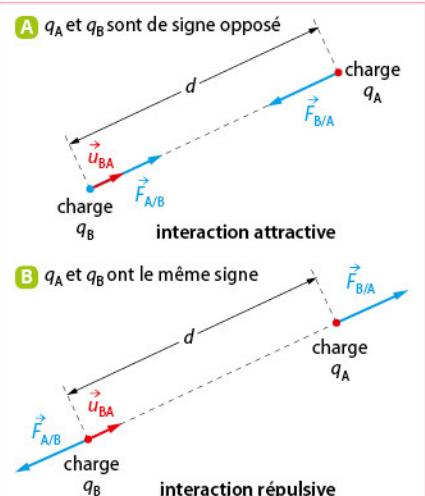
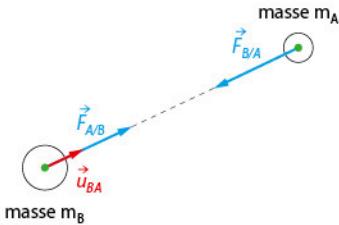
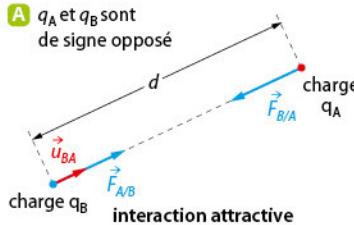
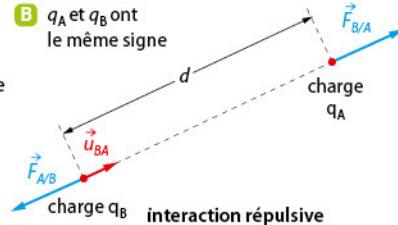


FIG. 4 Représentation des forces électrostatiques selon les signes des charges.



Force de gravitation	Force électrostatique
$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = -G \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \hat{u}_{BA}$	$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = k \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \hat{u}_{BA}$
Interaction attractive 	Interaction attractive ou répulsive A q_A et q_B sont de signe opposé  B q_A et q_B ont le même signe 

2 Force et champ de gravitation

► Champ de gravitation

La présence d'un objet de **masse M** a une conséquence sur l'espace qui l'entoure. La modélisation de cette influence se fait en représentant un **champ** de vecteurs gravitation. Ces vecteurs traduisent l'action exercée par un objet de masse M sur l'espace (FIG. 5).

Le symbole d'un **vecteur champ de gravitation** est \vec{g} .

L'unité de la valeur du vecteur champ de gravitation \vec{g} est le **N · kg⁻¹**.

Un autre objet de masse m placé dans le champ de gravitation \vec{g} subit une force de gravitation \vec{F}_g .

La force appliquée à l'objet est alors $\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$.

La force de gravitation sur l'objet de masse m est : $\vec{F}_g = -G \frac{m \cdot M}{d^2} \hat{u}$ ou $\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$;

donc le champ engendré par une masse M est : $\vec{g} = -G \frac{M}{d^2} \hat{u}$.

Expression du **champ de gravitation** : $\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$ donc : $\vec{g} = -G \frac{M}{d^2} \hat{u}$ avec

G constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;

la masse M (en **kg**) de l'objet qui engendre le champ de gravitation ;

la distance d (en **m**) entre la masse M et le point où est déterminé le champ de gravitation et \hat{u} vecteur unitaire, radial et centrifuge (FIG. 6).

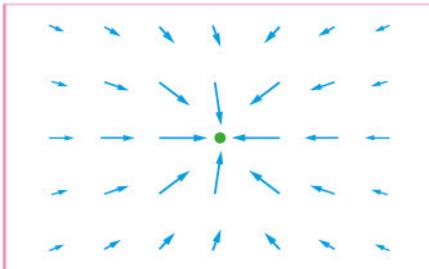


FIG. 5 Champ de vecteurs de gravitation engendré par une masse M .

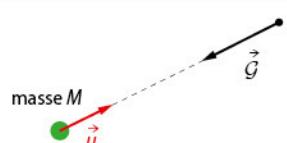


FIG. 6 Vecteur champ de gravitation \vec{g} engendré par une masse M .

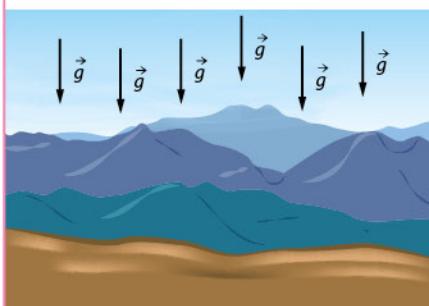


FIG. 7 Champ de vecteurs de pesanteur « local ».

► Champ de pesanteur

Quand la masse M est celle de la Terre alors $\vec{g} = -G \frac{M_T}{d^2} \hat{u}$.

Le champ \vec{g} est alors appelé vecteur champ de pesanteur et la force $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ le poids d'un objet de masse m placé dans ce champ.

Expression du **champ de pesanteur** : $\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$ donc : $\vec{g} = -G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \hat{u}$

avec $d = R_T + h$ où R_T est le rayon de la Terre et h la hauteur par rapport à la surface.

Le vecteur champ de pesanteur est considéré comme localement uniforme si la distance d'étude ne dépasse pas quelques kilomètres (FIG. 7).



► Lignes de champ gravitationnel

La représentation du champ de vecteurs se fait par l'intermédiaire de lignes de champ qui donne le sens et la direction aux vecteurs champs (FIG. 8).

Les **lignes de champ** sont les courbes tangentes aux vecteurs du champ de gravitation \vec{g} .

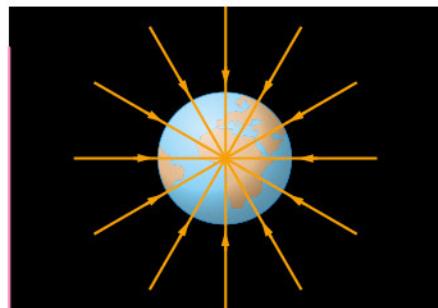


FIG. 8 Représentation de lignes de champ gravitationnel.

3 Force et champ électrostatiques

► Champ électrostatique

La présence d'une **particule chargée** a une conséquence sur la région de l'espace qui l'entoure. La représentation de cette influence se fait en représentant un **champ de vecteurs** (FIG. 9 ET 10). Ces vecteurs traduisent l'action exercée par le champ électrostatique sur une particule chargée à l'endroit où celle-ci se trouve.

Le symbole d'un **vecteur champ électrostatique** est \vec{E} .

L'unité de la valeur du vecteur champ électrique \vec{E} est le $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$.

Un objet possédant une charge q placé dans un champ électrostatique \vec{E} , engendré par une particule de charge Q , subit une action mécanique modélisée par une force électrostatique : $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$.

D'après la loi de Coulomb : $\vec{F}_e = k \frac{q \cdot Q}{d^2} \vec{u}$, or $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$, donc le champ produit par

une charge Q , positive ou négative, s'écrit : $\vec{E} = k \frac{Q}{d^2} \vec{u}$.

Expression du **champ électrostatique** \vec{E} : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ donc $\vec{E} = k \frac{Q}{d^2} \vec{u}$.

avec k constante de Coulomb : $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$; la charge électrique Q (en **C**) de l'objet qui engendre le champ électrostatique ; la distance d (en **m**) qui est la distance entre la charge et le point où est déterminé le champ électrostatique et \vec{u} vecteur unitaire radial et centrifuge (FIG. 11).

► Lignes de champ électrostatique

Le sens des lignes de champ électrostatique dépend du signe de la charge qui engendre le champ. Elles se représentent de façon identique au champ de gravitation.

Les **lignes de champ** sont les courbes tangentes aux vecteurs du champ électrostatique \vec{E} dont le sens dépend du signe de la charge (FIG. 12 ET 13).

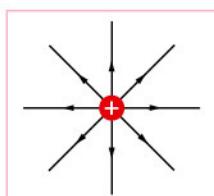


FIG. 12 Lignes de champ autour d'une particule chargée positivement.

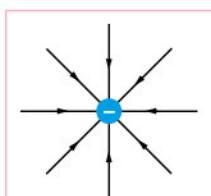


FIG. 13 Lignes de champ autour d'une particule chargée négativement.

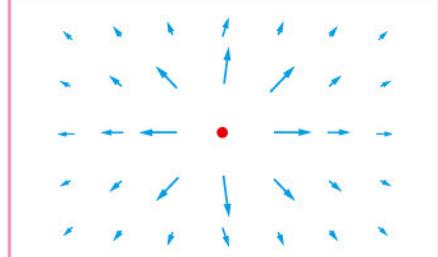


FIG. 9 Champ électrique autour d'une particule chargée positivement.

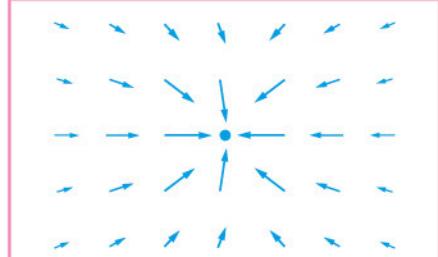


FIG. 10 Champ électrique autour d'une particule chargée négativement.

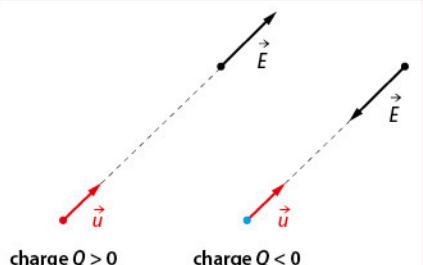


FIG. 11 Vecteurs champ électrostatique \vec{E} engendrés par une charge électrique positive ou négative.

1 Interaction électrostatique

► La **charge électrique** est portée par des particules élémentaires comme, par exemple, l'électron ou le proton.

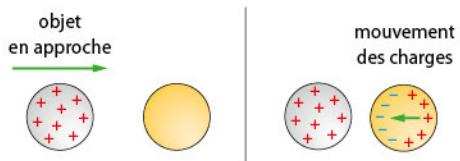
► La charge électrique est notée q et son unité est le **coulomb (C)**.

La charge élémentaire est notée e :

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

Influence électrostatique

Un objet chargé électriquement engendre, à distance, un déplacement de charge à la surface d'un conducteur placé à proximité.



► Expression de la force électrostatique (loi de Coulomb) :

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = k \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{u}_{BA}$$

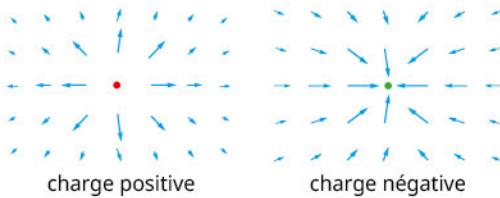
charges électriques (en C)
distance entre les charges (en m)

Constante k : $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

3 Force et champ électrostatiques

► La présence d'une particule chargée Q a une conséquence sur l'espace qui l'entoure. La modélisation de cette influence se fait en représentant un **champ de vecteurs**. Ces vecteurs traduisent l'action exercée par une particule chargée Q sur une autre dans l'espace.

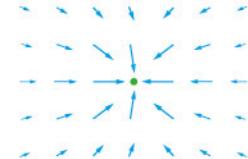
Représentations de champs électriques autour d'une particule de charge Q



2 Force et champ de gravitation

► La présence d'un objet de masse M a une conséquence sur l'espace qui l'entoure. La modélisation de cette influence se fait en représentant un **champ de vecteurs** gravitation. Ces vecteurs traduisent l'action exercée par un objet de masse M sur l'espace.

Représentation d'un champ de gravitation d'un objet de masse M



Expression du **champ de gravitation** :

$$\vec{G} = \frac{\vec{F}_g}{m}$$

donc $\vec{G} = -G \frac{M}{d^2} \vec{u}$

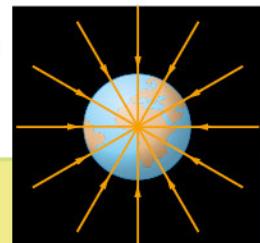
masse (en kg)
distance (en m)

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

► Expression du **champ de pesanteur** au voisinage de la Terre :

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$$

► Les **lignes de champ** sont les courbes tangentes aux vecteurs du champ de gravitation.



► Expression du **champ électrostatique** :

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

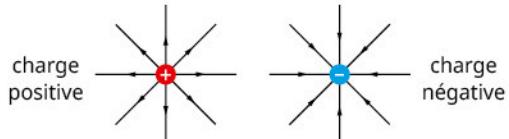
donc $\vec{E} = k \frac{Q}{d^2} \vec{u}$

charge (en C)
distance (en m)

$$k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

► Les **lignes de champ** sont les courbes tangentes aux vecteurs du champ électrostatique.

Représentations de lignes de champ autour d'une particule



Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

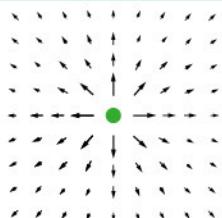
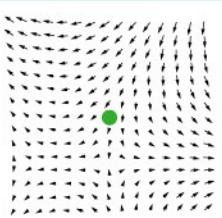
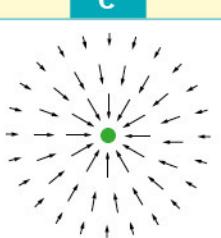
Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ SOLUTIONS EN PAGE 423



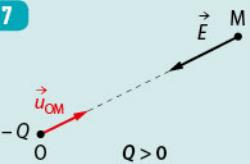
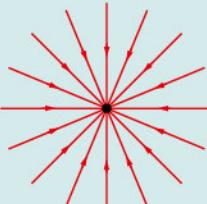
1 Interaction électrostatique

	A	B	C
1 La charge électrique d'un proton est :	positive.	égale à une charge élémentaire e.	égale à une charge élémentaire - e.
2 L'interaction électrostatique est :	uniquement répulsive.	répulsive et attractive.	uniquement attractive.
3 Deux charges négatives :	s'attirent.	se repoussent.	sont soumises à une interaction qui se modélise par des forces de même sens.

2 Force et champ de gravitation

	A	B	C
4 Une masse M peut engendrer le champ vectoriel suivant :			
5 Le champ de gravitation produit par la Lune dépend :	de la masse de la Lune.	de la masse de la Terre.	du volume de la Lune.
6 Sur Terre, tout objet lâché tombe vers le sol :	du fait de l'action de la Terre.	car il est dans le champ de gravitation de la Terre.	car il est dans le champ de pesanteur terrestre.

3 Force et champ électrostatiques

	A	B	C	
7	 Le vecteur champ électrostatique en M s'écrit :	$\vec{E} = k \frac{Q}{OM^2}$	$\vec{E} = k \frac{Q}{OM^2} \vec{u}_{OM}$	$\vec{E} = -k \frac{Q}{OM^2} \vec{u}_{OM}$
8	 Ces lignes de champ sont engendrées par :	une charge ponctuelle négative.	une charge ponctuelle positive.	par un dipôle de charges positive et négative.

Acquérir les notions

1 Interaction électrostatique

Notions du programme

Charge électrique, interaction électrostatique, influence électrostatique.

→ EXERCICES 9, 10 et 11

Ce qu'on attend de moi

- Savoir interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique.

Loi de Coulomb

→ EXERCICES 12, 13 et 14

- Savoir utiliser la loi de Coulomb.
- Connaître les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.

9 Bâtons chargés

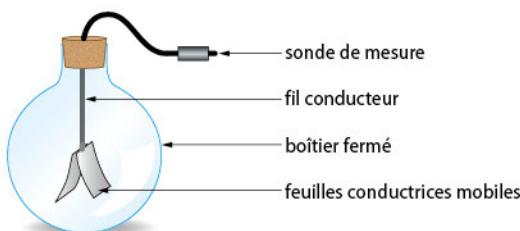
Un bâton en verre est frotté avec un tissu en laine. Des électrons sont arrachés du bâton.

Le bâton en verre est remplacé par un bâton en plastique, les électrons sont alors arrachés du tissu en laine.

Quel excès de charge électrique se retrouve sur chacun des bâtons ?

10 Électroscope

Un électroscope est constitué d'un fil métallique conducteur relié à deux feuilles conductrices très légères pouvant s'écartier l'une par rapport à l'autre.



1. Lorsqu'on relie l'extrémité du fil (sonde de mesure) à un objet chargé positivement, les feuilles de l'électroscope s'éloignent.

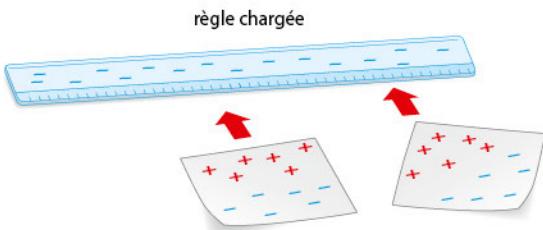
Représenter la répartition des charges électriques dans le dispositif.

2. Lorsqu'on approche de la sonde de mesure un objet neutre relié à la terre, l'écartement des feuilles de l'électroscope se réduit.

Comment évolue la répartition des charges sur les éléments du dispositif ?

11 La règle et les petits papiers

Une règle en plastique est frottée avec un tissu en laine afin de l'électriser. On approche la règle à proximité de petits morceaux de papier sans les toucher. La situation est décrite dans le schéma ci-après.



Interpréter l'expérience en expliquant tout particulièrement l'action de la règle sur les petits morceaux de papier.

12 La machine de Wimshurst

À l'aide d'un dispositif appelé machine de Wimshurst, on charge par frottement deux sphères métalliques qui portent alors des charges q identiques en valeur mais de signes opposés.

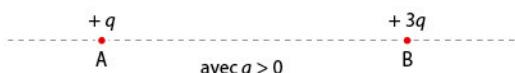


Données : $q = 1,0 \mu C$;
distance entre les centres
des deux sphères : $d = 5,0 \text{ cm}$;
constante $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

- Qualifier l'interaction entre ces deux sphères.
- Calculer la valeur de la force électrique qui s'exerce entre elles.

13 Attraction ou répulsion ?

Deux charges électriques sont représentées sur le schéma.



- Les particules chargées vont-elles s'attirer ou se repousser ?
- Rappeler la loi de Coulomb, puis exprimer les vecteurs forces en fonction des grandeurs q , $d = AB$ et \vec{u}_{AB} .
- Reproduire la figure et tracer les vecteurs forces sur celle-ci.
- Répondre aux questions précédentes pour $q < 0$.

14 Analogie entre les forces

Deux objets de masses différentes sont représentés sur le schéma ci-dessous.



- Les deux objets exercent-ils une interaction attractive ou répulsive ?
- Rappeler l'expression de la force de gravitation, puis exprimer les vecteurs forces en fonction des grandeurs m , $d = AB$ et \vec{u}_{AB} .
- Reproduire la figure et tracer les vecteurs forces sur celle-ci.
- Quelles analogies peut-on relever par rapport à l'expression de la loi Coulomb de l'exercice 13 ?

2 Force et champ de gravitation

Notions du programme

Force de gravitation et champ de gravitation

→ EXERCICES 15, 16, 17, 18 et 19

Ce qu'on attend de moi

- Savoir utiliser les expressions vectorielles de la force et du champ de gravitation.
- Savoir tracer localement un vecteur champ de gravitation en utilisant une ligne de champ.

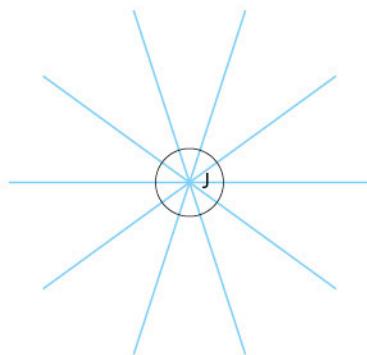
15 La Lune, satellite naturel de la Terre

Données : distance Terre-Lune : $d = 3,84 \times 10^5 \text{ km}$;
masse de la Lune : $m_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$;
masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$;
constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

1. Pourquoi dit-on que la Lune se situe dans le champ de gravitation de la Terre ?
2. a. Exprimer, en fonction de G , m_L , M_T et d , l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle qui modélise l'action de la Terre sur la Lune.
b. Calculer sa valeur.
3. a. Sur un schéma, représenter la force qui modélise l'action mécanique d'attraction gravitationnelle qu'exerce la Terre sur la Lune.
b. Représenter cette force en différentes positions de la trajectoire de la Lune.
c. Comment peut-on qualifier le champ de gravitation terrestre ?
d. Représenter l'allure de quelques lignes de champ à proximité de la Terre.

16 Lignes de champ de gravitation

Les lignes de champ de Jupiter sont représentées sur le schéma sans que leur sens soient indiqués.

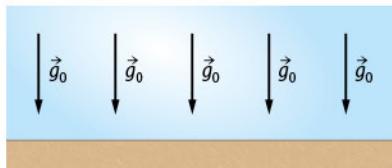


1. Reproduire la figure puis donner un sens à chaque ligne de champ.
2. Placer un point M sur une des lignes de champ et tracer le vecteur champ de gravitation $\vec{g}(M)$.
3. Un satellite en orbite autour de Jupiter passe en ce point M. Tracer le vecteur force qui modélise l'action de Jupiter sur le satellite.

17 Le champ de pesanteur

Au voisinage de la Terre, et en première approximation, on identifie le champ de gravitation au champ de pesanteur dit local.

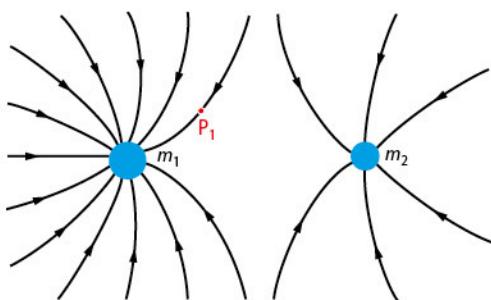
Le champ pesant local est représenté sur la figure ci-dessous.



Pourquoi dit-on généralement que le champ de pesanteur local est uniforme ?

18 Deux masses et leurs lignes de champ

Deux astres de masse m_1 et m_2 sont en interaction gravitationnelle. Les lignes de champ engendrées sont représentées sur la figure. P_1 est un point sur une ligne de champ.



1. a. Dessiner l'astre de masse m_1 , puis tracer les lignes de champ qu'il devrait engendrer s'il était seul.
b. Quelle est alors la direction et le sens du champ de gravitation ?
2. Pour quelle raison les lignes de champ engendrées par l'astre de masse m_1 sont-elles différentes en présence de la masse m_2 ?
3. Reproduire la masse m_1 et la ligne de champ contenant le point P_1 .
4. Tracer le vecteur champ de gravitation $\vec{g}(P_1)$.
5. Le vecteur $\vec{g}(P_1)$ est-il dirigé vers le centre de l'astre de masse m_1 ? Justifier.

19 Vecteur force et champ de gravitation

Un objet de masse $m = 120 \text{ kg}$ est soumis à un champ de gravitation. Le vecteur force qui modélise l'action qui agit sur l'objet au point P est modélisé sur la figure ci-dessous.



échelle de la force : 1 cm ↔ 100 N
échelle pour le champ de gravitation : 2 cm ↔ 1 N · kg⁻¹

Reproduire la figure en respectant la longueur du vecteur force puis tracer le vecteur champ de gravitation.

3 Force et champ électrostatiques

Notions du programme

Force électrostatique et champ électrostatique

► EXERCICES 20 21 22
23 24 et 25

Ce qu'on attend de moi

- Savoir utiliser les expressions vectorielles de la force et du champ électrostatique.
- Savoir tracer localement un vecteur champ électrostatique en utilisant une ligne de champ.

DONNÉE

Constante de Coulomb : $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

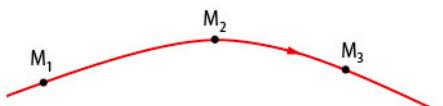
20 Vecteur champ électrostatique

Un objet possède une charge électrique $q = +9,6 \times 10^{-18} \text{ C}$, l'objet est suffisamment petit pour être considéré comme ponctuel.

1. Donner la relation vectorielle du champ électrostatique \vec{E} en un point M de l'espace éloigné d'une distance $d = 2 \text{ cm}$ de la charge.
2. Calculer la valeur du vecteur \vec{E} .
3. Représenter la charge, le point M et le vecteur \vec{E} sur un schéma en prenant pour échelle $1,0 \text{ cm} \leftrightarrow 1,0 \times 10^{-4} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.

21 Ligne et vecteurs champ électrostatique

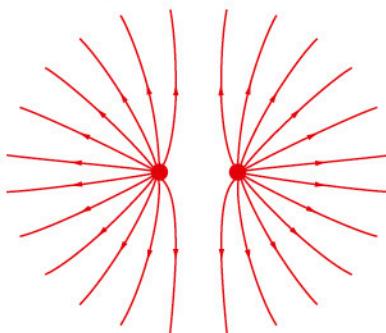
La représentation ci-dessous donne l'allure d'une ligne de champ.



1. Reproduire la ligne de champ sur une feuille.
2. La valeur des champs aux différents points est : $E(M_1) = 100 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$; $E(M_2) = 200 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ et $E(M_3) = 300 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$. Tracer les vecteurs champ électrostatique en M_1 , M_2 et M_3 en respectant l'échelle : $1 \text{ cm} \leftrightarrow 100 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.

22 Lignes de champ et charges électriques

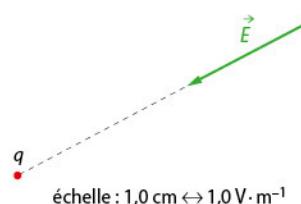
Le spectre suivant est obtenu avec deux charges électriques représentées en rouge sur le schéma.



1. De quel signe sont les charges électriques ?
2. Justifier alors l'allure des lignes de champ.

23 Vecteur champ

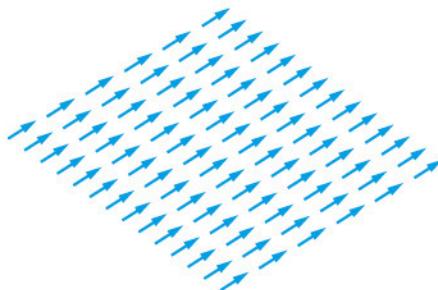
Le champ électrostatique \vec{E} engendré par une charge q placée à une distance d (à l'échelle) est représenté ci-dessous.



1. Quel est le signe de la charge électrique ?
2. Mesurer la distance qui sépare la charge et l'origine du vecteur.
3. Donner la valeur du vecteur \vec{E} en mesurant sa longueur.
4. En déduire la valeur de la charge électrique.

24 Force électrostatique dans un champ uniforme

Dans une région de l'espace il règne un champ \vec{E} uniforme. Le champ de vecteur est représenté ci-dessous.

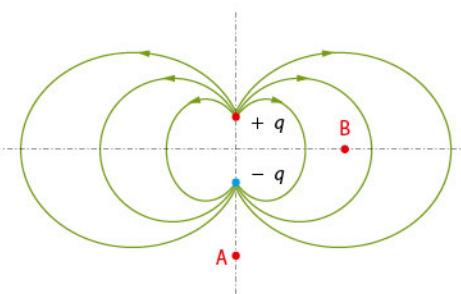


Données : valeur du champ : $E = 1,0 \times 10^2 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$; charge électrique d'un proton : $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

1. En observant la représentation du champ de vecteur, indiquer ce que signifie un champ \vec{E} uniforme.
2. Calculer la valeur de la force qui modélise l'action qui agit sur un proton dans ce champ.

25 L'intensité d'un champ électrostatique

Un dipôle de charges est constitué par deux charges de signes opposés mais de même valeur absolue. L'allure des lignes de champ du champ électrostatique créé par ce dipôle est modélisée sur le schéma ci-dessous.



Reproduire le schéma et représenter les vecteurs champs électrostatique aux points A et B.

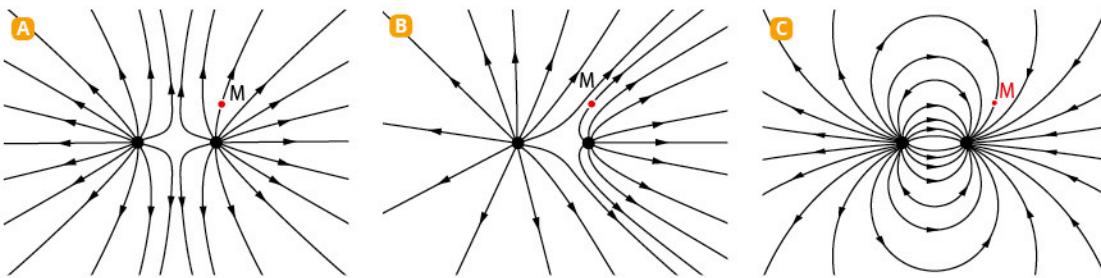
Exercice résolu EN AUTONOMIE

26 Lignes de champ

Deux charges électriques $q_1 = 500 \text{ pC}$ et $q_2 = 50 \text{ pC}$, distantes d'une longueur $d = 4,0 \text{ cm}$, engendrent deux champs électriques qui se superposent.

Donnée : constante de Coulomb : $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

- Modéliser, à l'échelle, chaque charge électrique par un point.
- Placer un point M respectivement à 4,5 cm de q_1 et à 2,0 cm de q_2 .
- Calculer l'intensité des vecteurs champs électriques \vec{E}_1 et \vec{E}_2 au point M respectivement engendrés par les charges électriques q_1 et q_2 .
- Tracer les vecteurs champs électriques \vec{E}_1 et \vec{E}_2 au point M en prenant pour échelle : $1,0 \text{ cm} \leftrightarrow 1,0 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.
- Le champ électrique produit est la superposition des deux champs électriques. Tracer le vecteur résultant \vec{E} .
- Les trois figures ci-dessous représentent un ensemble de lignes de champ générées par deux charges électriques. Laquelle correspond à la situation de l'exercice ? Justifier.



EXEMPLE DE RÉDACTION

1. et 2. Voir schéma ci-contre.

$$3. E_1 = k \cdot \frac{q_1}{r_1^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{500 \times 10^{-12}}{(4,5 \times 10^{-2})^2} = 2,2 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$E_2 = k \cdot \frac{q_2}{r_2^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{50 \times 10^{-12}}{(2,0 \times 10^{-2})^2} = 1,1 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

4. et 5. Voir schéma ci-contre.

6. La figure A ne convient pas car le vecteur champ électrostatique en ce point M est quasi vertical ce qui n'est pas le cas.

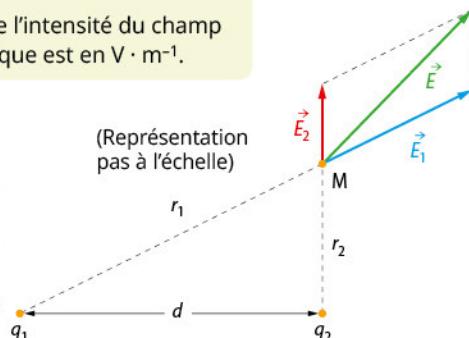
La figure C ne convient pas car les lignes de champ sont de sens inverse au vecteur champ électrostatique.

La figure B peut convenir car l'inclinaison et le sens du vecteur \vec{E} sont corrects à condition que q_1 soit à gauche et q_2 à droite.

QUELQUES CONSEILS

2. L'utilisation d'un compas peut s'avérer pratique pour placer le point M.

3. L'unité de l'intensité du champ électrostatique est en $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$.



EXERCICE SIMILAIRE

27 Valider des lignes de champ

Deux charges électriques $q_1 = 90 \text{ pC}$ et $q_2 = -10 \text{ pC}$ sont distantes d'une longueur $d = 2,0 \text{ cm}$.

En effectuant la construction d'un vecteur champ résultant de la superposition des champs électrostatiques engendrés par les deux charges électriques en un point bien choisi, montrer que la représentation des lignes de champ ci-contre peut convenir.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

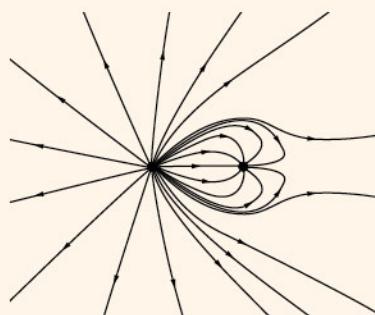
► La **superposition** signifie somme vectorielle des deux champs électrostatiques au point M.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

► **Modéliser** : proposer une représentation de la situation.

► **Calculer l'intensité** : trouver par le calcul la valeur du vecteur.

► **Justifier** : Montrer par un raisonnement qu'une affirmation ou qu'un résultat est correct.



Exercice résolu EN AUTONOMIE

28 Champ de gravitation Terre -Lune

La Terre et la Lune sont dans une position où ils sont distants de 392 000 km. On veut étudier l'impact de la superposition des champs gravitationnels des deux astres en un point à leur voisinage.

Données : masse de la Lune : $M_L = 7,36 \times 10^{22} \text{ kg}$;
masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

Cela signifie qu'il faudra additionner les vecteurs champs gravitationnels en ce point.

1. a. **Modéliser** la Terre et la Lune par un point T et un point L. La distance entre les deux astres sera représentée en utilisant l'échelle suivante : 1 cm \leftrightarrow 50 000 km.

b. Placer un point noté P à une distance $d_1 = 400 000 \text{ km}$ de la Terre et $d_2 = 70 000 \text{ km}$ de la Lune.

2. a. **Calculer l'intensité** \vec{g}_L du vecteur champ de gravitation engendré par la Lune au point P. Effectuer le même calcul pour connaître l'intensité du champ terrestre \vec{g}_T .

b. Tracer les vecteurs \vec{g}_L et \vec{g}_T au point P en respectant l'échelle donnée : 1 cm $\leftrightarrow 1,0 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

c. Le vecteur champ de gravitation résultant \vec{g} est obtenu en effectuant la superposition des deux champs. Tracer ce vecteur.

d. **En déduire** l'intensité du champ \vec{g} résultant.

3. Un objet de masse $m = 400 \text{ kg}$ est placé au point P.

a. Calculer la valeur de la force F qui modélise l'action mécanique qui agit sur l'objet.

b. Tracer le vecteur sur la figure, sans souci d'échelle.

c. Vers quel astre l'objet est-il attiré ? Ce résultat était-il prévisible ?

LES QUESTIONS À LA LOUPE

► **Modéliser** : proposer une représentation de la situation.

► **Calculer l'intensité** : trouver par le calcul la valeur.

► **En déduire** : utiliser la réponse de la précédente question pour répondre.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. a. et 1. b. Voir schéma ci-contre.

$$2. a. \vec{g}_L = G \cdot \frac{M_L}{d_2^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{7,36 \times 10^{22}}{(7,0 \times 10^7)^2} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

$$\vec{g}_T = G \cdot \frac{M_T}{d_1^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24}}{(4,0 \times 10^8)^2} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

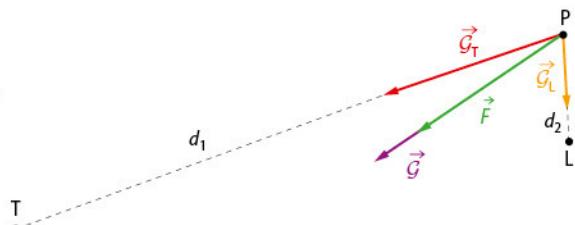
2. b et 2. c. Voir schéma ci-contre.

d. On obtient 3,0 cm pour le vecteur \vec{g} soit une intensité de $3,0 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

$$3. a. F = m \cdot g = 400 \times 3,0 \times 10^{-3} = 1,2 \text{ N}$$

b. Voir schéma ci-contre.

c. L'objet sera plus attiré par la Terre même si celui-ci est plus proche de la Lune.



QUELQUES CONSEILS

2. L'utilisation d'un compas peut s'avérer pratique pour placer le point P.

4. La représentation des vecteurs doit être faite avec soin.

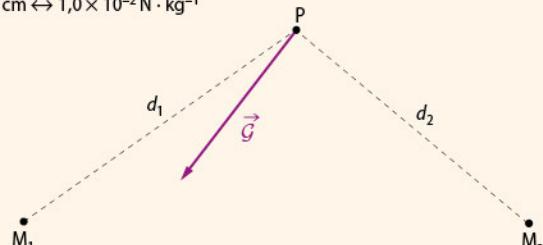
EXERCICE SIMILAIRE

29 Masse des astres

Deux astres de masse M_1 et M_2 sont en interaction gravitationnelle. Le vecteur champ de gravitation est mesuré en un point P et représenté sur la figure avec une échelle donnée.

1. Reproduire la figure en respectant l'échelle.
2. Tracer les vecteurs champ de gravitation \vec{g}_{M_1} et \vec{g}_{M_2} , respectivement engendrés par M_1 et M_2 .
3. En déduire l'intensité de chaque vecteur champ de gravitation.
4. Calculer la masse de chaque astre.

échelle des distances : 1 cm $\leftrightarrow 1,0 \times 10^8 \text{ m}$
échelle de l'intensité des champs de gravitation : 1 cm $\leftrightarrow 1,0 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$



Croiser les notions

DONNÉES

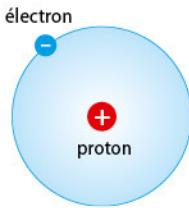
- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$;
- constante de Coulomb : $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$;
- charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- charge électrique d'un électron : $q_e = -e = -1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$; charge électrique d'un proton : $q_p = e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

30 Grains de sable

1. Calculer la valeur de la force qui modélise l'interaction gravitationnelle entre deux grains de sable de même masse $m = 10 \text{ g}$, distants d'une distance $d = 1,0 \text{ cm}$.
2. On suppose que ces deux grains sont électrisés et qu'ils portent respectivement une charge q et une charge $-q$. Donner l'expression de l'intensité de la force qui modélise l'interaction électrostatique entre ces deux grains.
3. a. Quelle devrait être la valeur de la charge q pour que la force d'attraction gravitationnelle et la force d'attraction électrostatique aient même valeur ?
- b. Comparer cette charge à la valeur d'une mole de charge élémentaire.
- c. En déduire quelle est l'interaction prédominante à cette échelle.

31 Modèle planétaire de l'atome d'hydrogène

L'atome d'hydrogène est le plus abondant dans l'univers ; sur Terre il est notamment présent dans la molécule d'eau.



Données : rayon atome hydrogène : $R = 53 \text{ pm}$; masse de l'électron : $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$; masse du proton : $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$; intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

1. Quelle est la composition d'un atome d'hydrogène (de numéro atomique $Z = 1$) ?

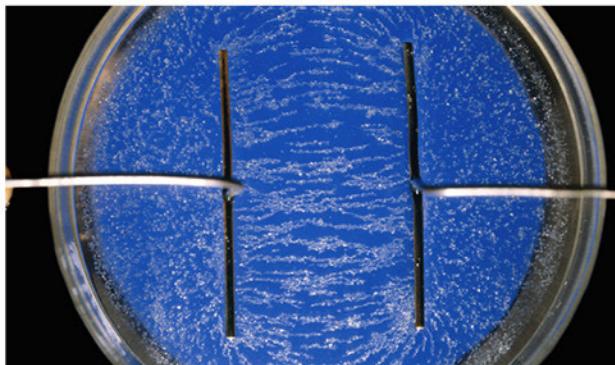
Dans le modèle planétaire, on suppose que l'électron est animé d'un mouvement circulaire de rayon R autour du proton.

2. Indiquer les trois interactions auxquelles sont soumises les deux particules chargées sur Terre ?
3. Écrire la loi de Coulomb puis calculer l'intensité de la force électrostatique.
4. Écrire relation de la force modélisant l'interaction gravitationnelle entre les deux particules. Calculer l'intensité de cette force.
5. Calculer la valeur du poids de chaque particule.
6. Que pouvez-vous en conclure en comparant les différentes intensités des forces ?

32 Electrostatic spectrum

A high voltage is applied between two metal plates immersed in an insulating liquid, which has been sprinkled with light bodies, such as seeds.

We then observe a certain distribution of these light bodies:



1. What does this distribution seem to describe?
2. Depict the appearance of the field lines corresponding to this situation.
3. Based on the photograph, can you determine the orientation of the field lines?

33 Une planète de « type terrestre habitable »

Une planète de « type terrestre habitable » a été découverte par une équipe d'astronomes européens. C'est la première fois que les scientifiques détectent une planète capable d'abriter une vie extra-terrestre hors de notre système solaire. Cette exoplanète, nommée Gliese c, qui orbite autour de l'étoile Gliese 581, se situe à 20,5 années de lumière de la Terre. Elle possède à la fois une surface solide ou liquide et une température proche de celle de la Terre.

Pour savoir si Gliese c est réellement une planète du « type terrestre habitable », on cherche à déterminer la valeur de l'intensité du champ de pesanteur local à sa surface.

Données : caractéristiques de la planète Gliese c :

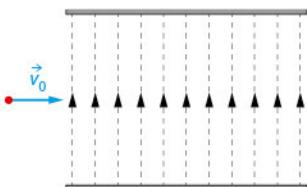
- masse estimée : $M_c = 3,0 \times 10^{25} \text{ kg}$;
- rayon estimé : $R_c = 9,6 \times 10^6 \text{ m}$;
- champ de pesanteur terrestre au niveau du sol : $g_0 = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1. Sur un schéma, représenter la force \vec{F} qui modélise l'action mécanique d'attraction gravitationnelle exercée par la planète Gliese c sur un objet A de masse m à l'altitude h .
2. Donner l'expression de l'intensité F de cette force en fonction de M_c , m , R_c , h et de la constante de gravitation universelle G .
3. La valeur \mathcal{G} du champ de gravitation est définie par la relation : $\mathcal{G} = \frac{\vec{F}}{m}$.
 - a. Donner l'expression de la valeur \mathcal{G}_c du champ de gravitation à la surface de la planète Gliese c en fonction de M_c , R_c et de la constante de gravitation universelle G .
 - b. Calculer la valeur de \mathcal{G}_c .

- c. Comparer la valeur de g_c à celle de l'intensité du champ de pesanteur local terrestre g_0 .
 d. Glisse c peut-elle être effectivement considérée comme une planète du « type terrestre habitable » ?

34 Déviation de particule dans un champ

Deux armatures formées de deux plaques parallèles en regard l'une de l'autre sont modélisées sur la figure ci-dessous avec les lignes de champ engendrées par les charges présentes sur les plaques. Le champ est considéré uniforme entre les armatures et de valeur $2,0 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$.



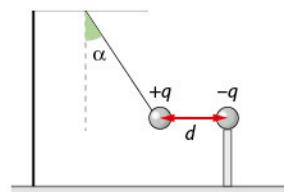
- Reproduire la figure, puis placer en un point quelconque entre les armatures un vecteur champ électrique \vec{E} .
- Indiquer le signe des charges accumulées sur chaque armature.
- Un électron pénètre entre les deux armatures avec une vitesse constante v_e .
 - Tracer l'allure probable de la trajectoire de l'électron. Justifier.
 - Tracer l'allure du vecteur force électrostatique modélisant l'interaction électrostatique entre l'électron et les charges électriques accumulées sur les armatures.
 - Calculer l'intensité de cette force.
- Effectuer la même étude pour un proton pénétrant entre les deux plaques avec une vitesse constante v_p .

JE VÉRIFIE QUE J'AIS...

- été attentif à la cohérence entre le sens et la direction des lignes de champs et ceux du vecteur \vec{E} ;
- orienté la trajectoire de l'électron vers les charges positives.

35 Valeur d'une charge électrique

Un système comportant un pendule en équilibre et une sphère fixée sur un support sont représentés sur le schéma ci-contre. Les sphères sont de masses identiques $m = 1,0 \text{ g}$ et portent une charge électrique de même valeur mais de signe opposé.



Données : distance entre les deux sphères : $d = 10 \text{ cm}$; $\alpha = 30^\circ$; champ de pesanteur terrestre : $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- Donner l'expression de la valeur du vecteur force \vec{F} modélisant l'interaction électrostatique entre les deux sphères.
- En effectuant une étude mécanique, on montre que : $F = m \cdot g \cdot \tan \alpha$.

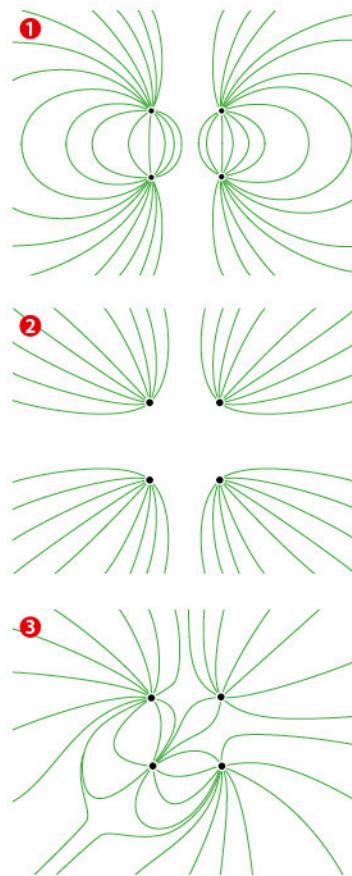
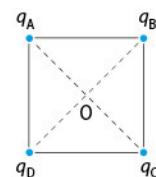
En déduire la valeur de la charge électrique portée par les sphères.

36 Champ dans une distribution de charge

Soit quatre charges électriques fixes formant un carré de $a = 1,0 \text{ cm}$ de côté ; la figure ci-contre représente la situation.

- Associer aux trois configurations suivantes les représentations des lignes de champ électrostatique ①, ② et ③.

- A $q_A = q_B = q_C = q_D = q$
 B $q_A = q_B = q$ et $q_C = q_D = -q$
 C $q_A = q_C = q_B = q$ et $q_D = -q$

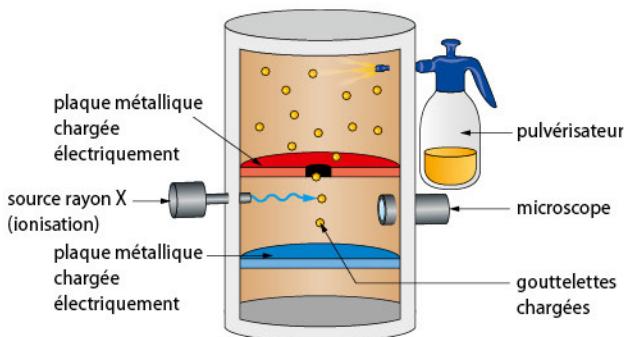


- a. Reproduire trois fois le schéma initial comportant les quatre charges avec les configurations A, B et C.
 b. Dans chacun des trois cas présentés, tracer quelques lignes de champ puis donner leur orientation.

37 Expérience de Millikan HISTOIRE DES SCIENCES

L'expérience de Millikan a permis de trouver en 1910 une valeur approchée de la charge élémentaire. Millikan pulvérise des gouttelettes d'huile chargées entre deux plaques où règne un champ électrostatique constant. La méthode utilisée consistait à immobiliser les gouttelettes en augmentant le champ électrostatique afin de compenser l'action de la Terre sur les gouttelettes.

Données : masse volumique de l'huile : $\rho = 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; diamètre d'une gouttelette : $D = 4,10 \mu\text{m}$; intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$; volume d'une sphère : $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.



Entre deux plaques métalliques horizontales distantes de 1,5 cm, règne un champ électrostatique de valeur $2,0 \times 10^5 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.

On constate alors que de petites gouttes d'huile chargées négativement sont en équilibre entre les deux plaques.

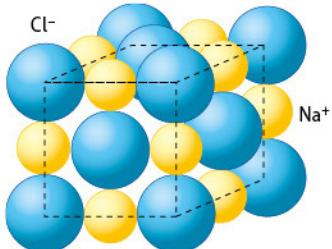
1. Quels sont les signes des charges électriques portées par chacune des plaques ?
2. a. En utilisant le principe d'inertie pour une gouttelette immobile, montrer que : $q = \frac{\pi \cdot \rho \cdot g \cdot D^3}{6 \cdot E}$.
- b. Calculer la charge d'une goutte d'huile puis comparer à la charge d'un électron.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- orienté correctement le vecteur champ électrostatique \vec{E} entre les armatures ;
- écrit les expressions vectorielles du poids et de la force électrostatique modélisant les deux interactions.

38 Interaction dans le sel de cuisine

Le sel de cuisine, ou chlorure de sodium, est un cristal ionique formé des ions sodium Na^+ et chlorure Cl^- . La disposition des ions dans un cristal est régulière. Les ions s'ordonnent selon une structure élémentaire simple qui se reproduit aux dimensions du cristal. Cette structure est appelée une maille et, dans le cas du sel de cuisine, il s'agit d'un cube (en pointillés sur le schéma ci-dessous). Les ions Cl^- sont aux sommets du cube et au centre de chaque face, alors que les ions Na^+ sont situés au milieu de chaque arête.



Données :

rayon de l'ion Na^+ : $r_{\text{Na}^+} = 99 \text{ pm}$;

rayon de l'ion Cl^- : $r_{\text{Cl}^-} = 181 \text{ pm}$.

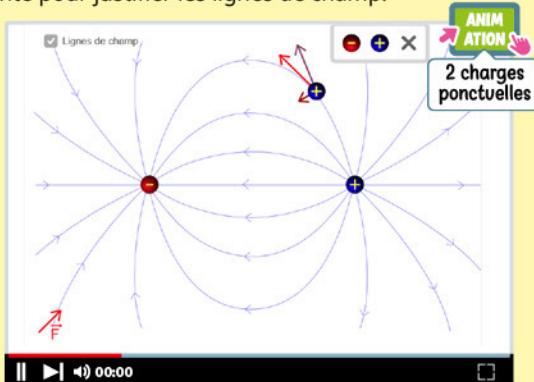
1. Déterminer la valeur, en pm, de l'arête a du cube.
2. a. Quelle est la distance d_{Cl} séparant le centre de deux ions chlorure les plus proches ?

- b. L'interaction électrique est-elle attractive ou répulsive entre deux ions chlorure ?
- c. Calculer l'intensité de la force modélisant cette interaction.
3. Faire de même pour deux ions sodium les plus proches.
4. Mêmes questions pour un ion chlorure et un ion sodium les plus proches.
5. Qu'est-ce qui assure la stabilité de ce cristal ?

À L'ORAL

39 Dipôles électrostatiques

Préparer un exposé oral en utilisant l'animation suivante pour justifier les lignes de champ.



Cet exposé de quelques minutes devra utiliser les mots clés suivants :

- charges électriques ;
- le vecteur champ électrostatique engendré par une charge ponctuelle ;
- la loi de Coulomb ;
- le sens de lignes de champ.

Ce court exposé devra être réalisé sans note écrite.

40 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Avant un orage, les courants de l'air produisent dans les nuages la collision entre les gouttes d'eau et les cristaux de glace qui s'y trouvent. Lors de ces chocs, les gouttelettes d'eau, plus massives, se chargent négativement.

Préparer un exposé oral expliquant comment ce phénomène est à l'origine des éclairs.



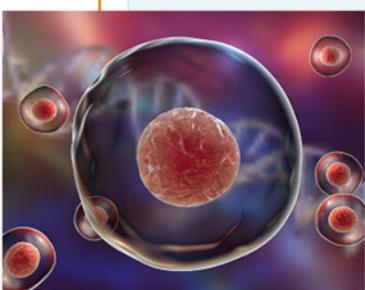
Acquérir des compétences

41 Membrane cellulaire ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP Schématiser une situation

Une cellule est le siège de déplacement de charges électriques qui engendrent des champs électrostatiques.

DOC 1 Une cellule



Une cellule est la brique élémentaire des êtres vivants. Son diamètre est de l'ordre de $20 \mu\text{m}$.

Elle possède une membrane dont l'épaisseur est d'environ 10 nm . La membrane est formée essentiellement d'une double couche de lipide. Dans les cellules, la répartition des ions de chaque côté de la membrane est inégale. Elle est due aux déplacements d'ions entre l'extérieur et l'intérieur de la cellule. Dans une situation au repos, les charges accumulées près des surfaces intérieures et extérieures ont respectivement une densité surfacique de charges électriques de $-1,2 \times 10^{-5} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$ et $+1,2 \times 10^{-5} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$.

La répartition des charges autour de la cellule est globalement uniforme et le champ à l'intérieur de la membrane est considéré comme uniforme.

Donnée : Aire d'une sphère : $S = 4 \pi \cdot R^2$

ANALYSE

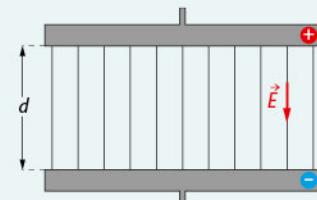
1. Représenter la situation en dessinant une cellule et les charges électriques.
2. Quelle est la quantité de charges électriques accumulées sur la paroi de la membrane extérieure ?
3. La mesure de la tension électrique entre l'intérieur de la cellule et l'extérieur aux environs des parois de la membrane donne une valeur de 70 mV . Quelle est la valeur du champ régnant dans la membrane ?

DOC 2 Un champ entre deux armatures

Entre deux plaques chargées et parallèles en regard l'une de l'autre, le champ électrostatique est uniforme.

Son expression est :

$$E = \frac{U}{d} \text{ avec } U \text{ la tension entre deux plaques et } d \text{ la distance entre celles-ci.}$$



DOC 3 Un champ électrique disruptif

La valeur maximale du champ électrostatique dans l'air sec, au-delà laquelle l'air devient conducteur et laisse passer les charges électriques sous forme d'arc électrique, est de $3600 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$. On parle alors de champ disruptif.



SYNTHÈSE

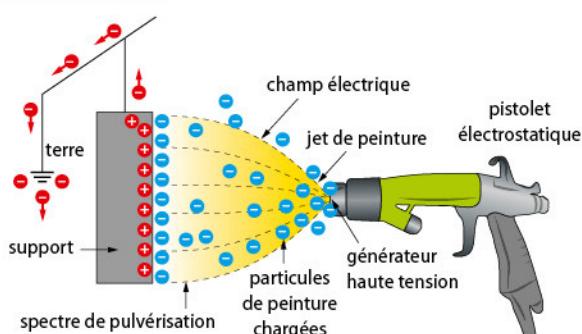
Rappeler la raison pour laquelle la cellule est le siège d'un champ électrostatique et justifier le fait que la membrane est résistante à ce champ.

42 Principe de la peinture électrostatique

AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

La peinture électrostatique permet de travailler avec peu de perte de peinture.

TACHE COMPLEXE



LE PROBLÈME À RÉSOUVRIR

En utilisant le document ci-contre, expliquer le principe de cette peinture et surtout pourquoi ce type de peinture éclabousse peu et se répartie uniformément.

43 Champ gravitationnel Terre/Lune

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

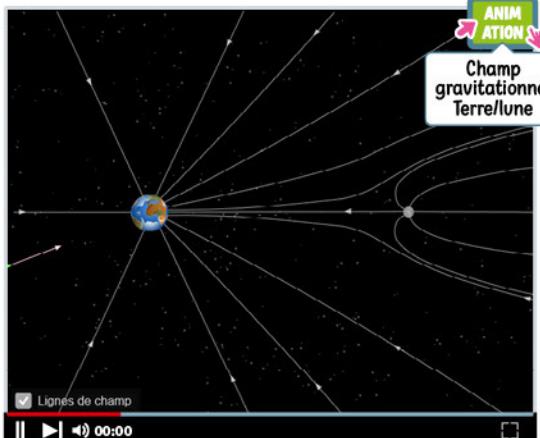
APP Schématiser la situation**RÉA** Confronter un modèle à des résultats expérimentaux**DÉMARCHE EXPÉRTE**

Proposer une méthode qui permette de justifier l'allure des lignes de champ obtenue sur l'animation ci-contre.

Cette méthode graphique devra comporter des représentations vectorielles.

DÉMARCHE AVANCÉE

- Effectuer un schéma de la situation (faisant apparaître la Terre et la Lune) en utilisant une échelle adaptée.
- Tracer quelques vecteurs champ de gravitation, avec une échelle adaptée et choisie, et vérifier que les vecteurs peuvent correspondre aux lignes de champ.
- Rédiger toutes les étapes de la méthode qui mène à la conclusion.



ANIMATION

Champ gravitationnel Terre/lune

Données : Distance Terre - Lune $d = 3,8 \times 10^8 \text{ m}$; masse Terre : $M_T = 5,6 \times 10^{24} \text{ kg}$; masse Lune : $M_L = 7,4 \times 10^{22} \text{ kg}$

44 Mesure du champ de pesanteur terrestre

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

**AN/RAI** Proposer un protocole**VAL** Interpréter des mesures

Un pendule simple est utilisé pour estimer le champ de pesanteur par mesure de sa période.

La relation de la période d'une oscillation s'écrit :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

où ℓ est la longueur du fil en mètre et g le champ de pesanteur terrestre en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Données :

La théorie statistique montre que la meilleure estimation de l'incertitude-type dans le cas d'une répétition de la mesure de la grandeur X est :

$$U_x = \frac{s_x}{\sqrt{N}}$$

où N est le nombre de mesures effectuées et s_x l'écart-type.



- Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la période d'une oscillation avec le maximum de précision à l'aide uniquement d'un chronomètre.

- On utilise un mètre ruban gradué en millimètre pour mesurer une ficelle munie à son extrémité d'une masse. La longueur mesurée est $\ell = 1,00 \text{ m}$.

Estimer l'incertitude-type de la longueur mesurée.

- Indiquer pourquoi il est nécessaire d'effectuer plusieurs mesures pour une même période.

- Plusieurs mesures sont données dans le tableau ci-dessous.

Numéro de la mesure	1	2	3	4	5
T (en s)	1,98	2,00	2,02	2,03	2,04
Numéro de la mesure	6	7	8	9	10
T (en s)	2,01	2,01	1,99	2,00	1,97

Déterminer la période et son incertitude-type.

- Donner la valeur du champ de pesanteur.

DES PISTES POUR L'ORAL TERMINAL

Un projet sur l'électrophorèse et ses applications (analyse ADN, etc.) permet de travailler sur les domaines de la physique (champ électrostatique, mouvement, etc.) mais aussi de la chimie et de la génétique en lien avec les sciences du vivant.

UNE SITUATION À L'ORIGINE DE MON PROJET

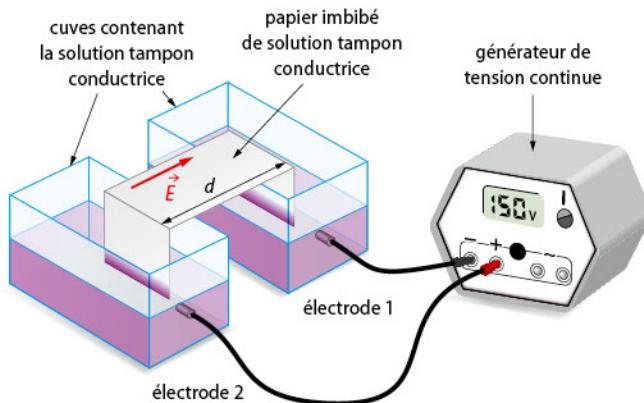
En 1987, un boulanger anglais du nom de Colin Pitchfork fut le premier criminel confondu par son ADN. Depuis cette méthode s'est étendue à d'autres domaines.



DES DOCUMENTS POUR M'AIDER À L'ORIENTER

Montage simplifié de l'électrophorèse

Le montage simplifié comporte un générateur qui alimente deux électrodes baignant dans un liquide tampon conducteur ; une bande imbibée de solution tampon fait le lien entre les cuves. Il se produit un champ électrostatique entre les deux électrodes et sur la bande.



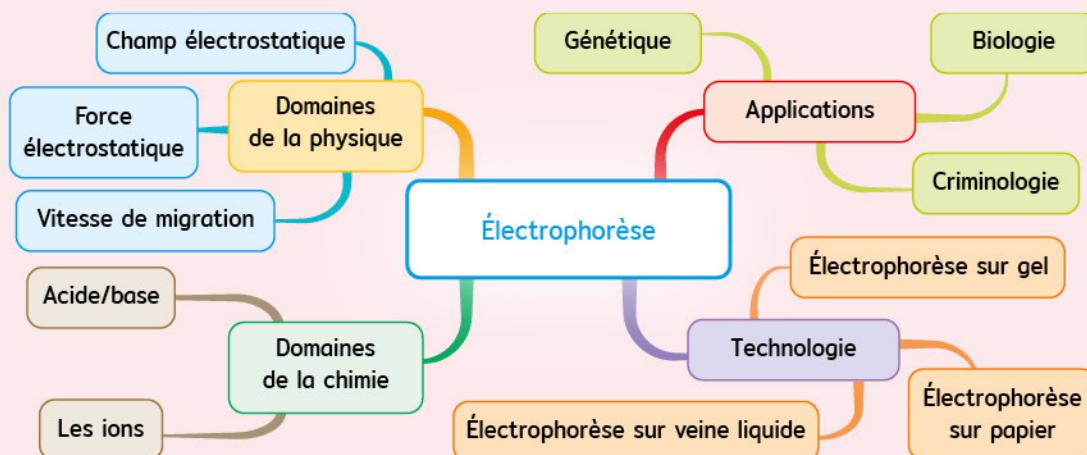
Principe de l'électrophorèse

L'électrophorèse est une technique basée sur la migration des ions (positifs ou négatifs) sous l'action d'un champ électrostatique.

Les ions ont chacun leurs propres caractéristiques : ils possèdent des vitesses de déplacement ou migration différentes. Ils se séparent donc les uns des autres, ce qui permet de les identifier par comparaison à un échantillon test.



DES PISTES DE RECHERCHE À EXPLORER



Le vocabulaire scientifique à utiliser

- champ électrostatique
- force électrostatique

- charge électrique
- ions