

1 Charge électrique, électrisation, loi de Coulomb

A La charge électrique

➤ Déjà dans l'Antiquité, on savait qu'en frottant un morceau d'ambre avec de la fourrure ou de la laine, il pouvait attirer à lui des objets légers. Cette attraction a pour origine les propriétés électriques de la matière.

Selon les matières mises en jeu, une attraction ou une répulsion peuvent être observées. Il existe deux caractères électriques, liés à deux types de charges électriques : positive et négative.

Des charges de même signe se repoussent alors que des charges de signes opposés s'attirent (doc. 2).

➤ Toute charge est égale à un multiple de la charge élémentaire $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C. L'unité du système international de la charge est le coulomb, noté C :

- un électron porte une charge de $-e$ et un proton une charge de $+e$;
- la cohésion de la matière est assurée par les charges des particules qui la constituent, même si la matière est lacunaire.

B Électrisation

1. Électrisation par frottement

Lors du frottement entre l'ambre et la laine, la laine donne certains de ses électrons à l'ambre. Les deux matériaux sont ici électrisés par frottement, l'ambre devient électriquement négatif et la laine électriquement positive.

2. Électrisation par contact

Un objet chargé électriquement, mis en contact avec un objet neutre, lui transfère une partie de sa charge (doc. 3). Si le matériau est :

- **conducteur**, alors la charge se répartit sur toute sa surface ;
- **isolant**, alors la charge reste au niveau de la zone de contact.

3. Électrisation par influence

Lorsque l'on approche un objet chargé :

- **d'un matériau conducteur** : la répartition des charges est modifiée dans le conducteur ;
- **d'une substance dipolaire** : les dipôles s'orientent dans le sens du champ électrostatique créé par l'objet (doc. 4).

C Loi de Coulomb

➤ Au XVIII^e siècle, Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) effectue des mesures de forces électrostatiques sur des sphères chargées à l'aide d'une balance de torsion.

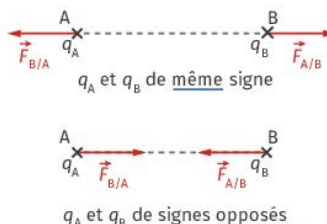
Il démontre que la valeur de cette force F_e est proportionnelle aux charges électriques mises en jeu, et proportionnelle à l'inverse du carré de la distance séparant le centre des sphères :

$$F_e = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d_{AB}^2}$$

Doc. 1 Table triboélectrique

+	Fourrure de lapin	Cette table permet de déterminer le matériau qui cède et celui qui reçoit les électrons lors d'une électrisation par frottement entre eux.
	Verre	
	Cheveux	
	Nylon	
	Laine	
	Aluminium	
	Papier	
	Acier	
	Ambre	
	Cuivre	
	Or	
	Polystyrène	
-	PVC	

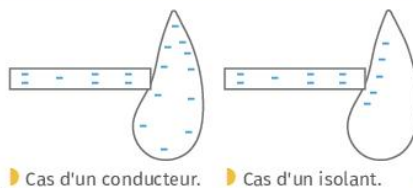
Doc. 2 Attraction, répulsion électrique



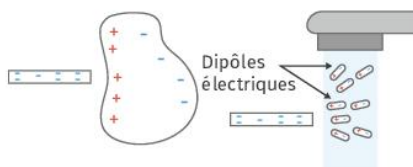
Vocabulaire

- **Charge électrique** : propriété de la matière lui permettant d'interagir avec un champ électromagnétique.

Doc. 3 Électrisation par contact



Doc. 4 Électrisation par influence



2 La force gravitationnelle et la force électrostatique

A De l'interaction à la force

Soit deux objets A et B qui agissent de manière réciproque l'un sur l'autre : A agit sur B et B agit sur A, on dit alors que **ces objets sont en interaction**.

Chaque action est modélisée par une force, elle-même représentée par un vecteur portant quatre caractéristiques : un sens, une direction, une intensité et un point d'application (**doc. 5**).

B La force gravitationnelle

Tous les corps qui ont une masse s'attirent les uns les autres : ce phénomène est appelé gravitation. Ces actions sont réciproques, on parle donc d'interaction gravitationnelle.

La force modélisant ces actions est appelée force d'attraction gravitationnelle, elle est décrite par la relation :

$$\vec{F}_g(A/B) = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \vec{e}_r$$

avec G la constante universelle de la gravitation ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$), m_A et m_B les masses (en kg) des corps A et B, et d la distance entre A et B exprimée en mètre (m).

\vec{e}_r est le vecteur unitaire porté par la droite (AB), orienté de A vers B.

L'intensité de la force gravitationnelle est égale à la valeur absolue de la force précédente : $F_g = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$.

On remarque que l'action gravitationnelle d'un corps A sur un corps B est de même intensité que celle du corps B sur le corps A. Ainsi, la Terre attire autant à elle la Lune que la Lune attire à elle la Terre.

C La force électrostatique

Tous les corps possédant une charge électrique s'attirent ou se repoussent de manière réciproque.

La force modélisant ces actions est appelée force électrostatique, elle est décrite par la relation :

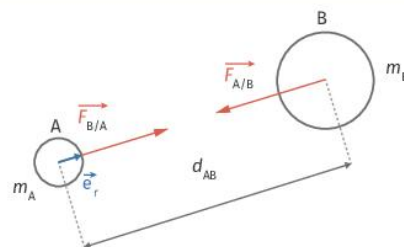
$$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{e}_r$$

avec $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$, q_A et q_B les valeurs des charges électriques portées respectivement par les corps A et B et exprimées en coulomb (C), et d la distance entre A et B exprimée en mètre (m).

L'intensité de cette force est égale à la valeur absolue de la relation précédente : $F_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2}$.

On remarque ici aussi que l'action électrostatique d'un corps A sur un corps B est de même intensité que celle du corps B sur le corps A (**doc. 7**).

Doc. 5 Représentation des forces



Éviter les erreurs

➔ Attention au référentiel choisi ! Habituellement, l'origine du repère spatial est prise au centre du corps de masse la plus grande.

Par exemple, lors de l'étude de l'interaction gravitationnelle entre le Soleil et la Terre, on se place généralement dans le référentiel héliocentrique, donc :

$$\vec{F}_g(\text{Soleil/Terre}) = -G \cdot \frac{m_{\text{Soleil}} \cdot m_{\text{Terre}}}{d^2} \vec{e}_r$$

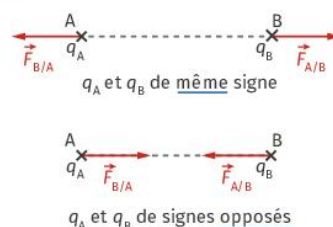
$$\vec{F}_g(\text{Terre/Soleil}) = G \cdot \frac{m_{\text{Soleil}} \cdot m_{\text{Terre}}}{d^2} \vec{e}_r$$

avec \vec{e}_r vecteur unitaire orienté du Soleil vers la Terre.

Doc. 6 Mesure de G par Cavendish

John Cavendish (1732-1796), avec 4 masses, un fil, un miroir et un rayon lumineux, a mesuré la constante de gravité G avec une remarquable précision.

Doc. 7 Attraction, répulsion électrique



Éviter les erreurs

➔ Attention à bien vérifier le signe des charges, cela a une conséquence directe sur l'orientation des forces mises en jeu !

3 Le champ gravitationnel et le champ électrostatique

A Les champs

1. Généralités

Un champ représente la cartographie dans l'espace d'une grandeur physique.

On définit deux types de champs :

- **les champs scalaires** dont la grandeur cartographiée est scalaire, par exemple les champs de température et de pression ;
- **les champs vectoriels** dont la grandeur cartographiée est vectorielle, par exemple les champs de vitesse (vent), gravitationnel et électrostatique (**doc. 8**).

2. Étude d'un champ vectoriel

Pour dessiner un champ vectoriel, on représente dans l'espace les vecteurs des grandeurs qui nous intéressent.

Afin de mieux visualiser un champ vectoriel, on trace les lignes de champ. Ce sont les courbes qui suivent les vecteurs en respectant leur direction : elles sont tangentes en tout point au vecteur du champ.

Plus les lignes de champ sont proches les unes des autres, plus le champ est intense dans la zone considérée.

B Champ gravitationnel

➤ Tous les corps ayant une masse s'attirent les uns les autres.

Afin de décrire l'action gravitationnelle d'une masse en particulier dans une zone spatiale donnée, on fixe une masse et on représente le champ gravitationnel qu'elle crée.

La valeur du champ gravitationnel créé par une masse m peut être déterminée à partir de la relation $\vec{G} = G \cdot \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$, G est la constante universelle de la gravitation ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$).

On appelle couramment « champ de pesanteur terrestre », le champ gravitationnel de la Terre à sa surface (**doc. 9**).

C Le champ électrostatique

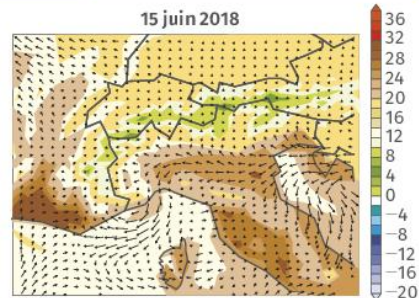
➤ Tous les objets portant une charge repoussent ou attirent tous les autres objets portant une charge électrique.

Afin de décrire l'action électrostatique d'une charge électrique dans une zone spatiale donnée, on se place du point de vue de cette charge et on représente le champ électrostatique créé (**doc. 10**).

La valeur du champ électrostatique créé par une charge q en un point peut être déterminée par la relation :

$$\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{e}_r \text{ où } k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}.$$

Doc. 8 Champ scalaire de température

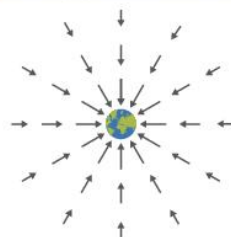


➤ Cette carte indique un champ scalaire de température en °C (en couleur) et un champ vectoriel de vitesse du vent (matérialisé par les flèches).

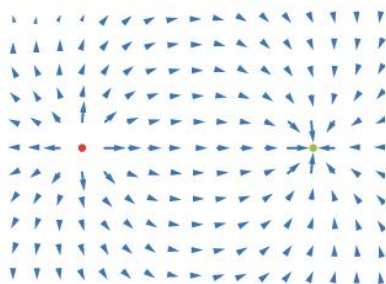
Vocabulaire

- **Champ** : cartographie des valeurs d'une grandeur dans l'espace.

Doc. 9 Champ gravitationnel



Doc. 10 Champ électrostatique créé par une charge électrique



➤ Positive à gauche, négative à droite.

Pas de malentendu



- L'unité d'un champ dépend de la grandeur cartographiée :
 - l'unité de G est le newton par kilogramme $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ou en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$;
 - l'unité de E est le newton par coulomb $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$ ou en $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$.

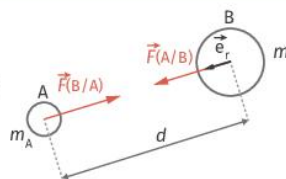
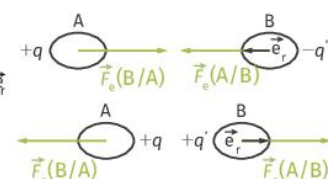
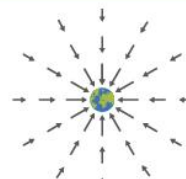
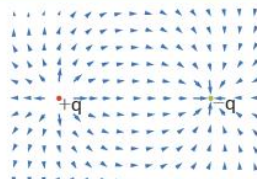
Les éléments essentiels de la modélisation

Une force :

- modélise l'action d'un objet sur un autre en un point de l'espace ;
- est représentée par un vecteur (direction, sens, norme, point d'application) ;
- a une valeur dont l'unité est le newton (N).

Un champ :

- cartographie une grandeur dans une zone de l'espace ;
- est scalaire si la grandeur cartographiée est numérique (ex. : champ de pression d'une carte météo) ;
- est vectoriel si la grandeur cartographiée est vectorielle (ex. : champ magnétique terrestre).

	Interaction gravitationnelle	Interaction électrostatique
Action sur	les masses	les charges électriques
Force	$\vec{F}_g(A/B) = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \vec{e}_r$ Force exclusivement attractive 	$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{e}_r$ Force attractive ou répulsive 
Champ	$\vec{G} = G \cdot \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$ 	$\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{e}_r$ 
Lien entre la force et le champ	$\vec{F}_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \vec{e}_r$ $\vec{F} = m_2 \cdot \vec{G}$ $\vec{G} = -G \cdot \frac{m_1}{d^2} \vec{e}_r$	$\vec{F}_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \vec{e}_r$ $\vec{F}_e = q_2 \cdot \vec{E}$ $\vec{E} = k \cdot \frac{q_1}{d^2} \vec{e}_r$

Les limites de la modélisation

➤ Pour les calculs liés à ces forces, on modélise les objets étudiés par des points fictifs qui concentrent toute la masse/charge et qui sont situés au niveau des centres de gravité/de charge des objets étudiés. Le seul objet non modélisé par un point et dont l'étude est possible ici est le condensateur plan.

➤ On constate des similitudes entre \vec{F}_e et \vec{F}_g :

- forces proportionnelles aux grandeurs sur lesquelles elles agissent, respectivement q et m ;
- forces proportionnelles à l'inverse du carré de la distance séparant les deux corps.

Ne pas oublier toutefois que la force gravitationnelle n'est jamais répulsive !

➤ Enfin, l'interaction électrostatique ne permet pas d'expliquer le positionnement des électrons sur des couches spécifiques dans les atomes, comme étudié en seconde. Pour cela, nous avons besoin d'une modélisation plus complexe qui est proposée par la physique quantique.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour réaliser un schéma et reprendre les principales notions du chapitre ! LLS.fr/PC1P223

1 Électrisation

	A	B	C
1. L'électrisation par frottement est expliquée comme :	un transfert de protons d'un objet à l'autre.	un transfert d'électrons d'un objet à l'autre.	une transformation des électrons sous l'effet de la chaleur du frottement.
2. Lorsqu'on électrise par contact un objet conducteur, la charge électrique se répartit :	dans l'ensemble du volume de l'objet.	obligatoirement de manière uniforme à la surface de l'objet.	à la surface de l'objet, de manière plus concentrée sur les pointes de l'objet.
3. Lorsqu'on approche un objet chargé d'une substance dipolaire :	la substance s'éloigne de l'objet.	les molécules s'orientent dans un sens particulier.	il ne se passe rien.

2 Forces gravitationnelle et électrostatique

1. Les forces gravitationnelle et électrostatique sont proportionnelles :	à la distance séparant les objets.	au carré de la distance séparant les objets.	à l'inverse du carré de la distance séparant les objets.
2. La force électrostatique est donnée par la relation :	$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{e}_r$	$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d} \vec{e}_r$	$\vec{F}_e(A/B) = \frac{q_A \cdot q_B}{k \cdot d} \vec{e}_r$
3. L'unité de la valeur de la force de la loi de Coulomb est :	le coulomb (C).	le newton (N).	le newton par coulomb (N/C).

3 Champs gravitationnel et électrostatique

1. Les champs gravitationnel et électrostatique sont donnés par les relations :	$\vec{G} = G \cdot \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$ et $\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{e}_r$	$\vec{G} = G \cdot \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$ et $\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{e}_r$	$\vec{G} = G \cdot \frac{d^2}{m} \vec{e}_r$ et $\vec{E} = k \cdot \frac{d^2}{q} \vec{e}_r$
2. Plus les lignes de champ sont proches les unes des autres :	moins le champ est intense.	plus le champ est intense.	plus les particules sont proches.

Numérique

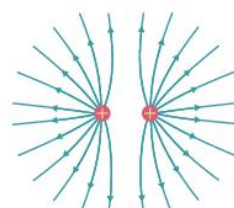
Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P224

4 Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. Voir le schéma ci-contre.

b. $G = G \cdot \frac{M_{\text{Terre}}}{d^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24}}{(10^9)^2} = 3,98 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.



Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 405)

Charge électrique, interaction électrostatique

14

25

Loi de Coulomb

27

32

Force de gravitation et champ de gravitation

[Diff]

27

38

Force électrostatique et champ électrostatique

33

Pour s'échauffer

Données

- $m_{\text{électron}} = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$; $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$;
- Charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$.



5 Électrisation par frottement

On frotte de l'ambre avec un morceau de laine.

- Identifier le signe de la charge électrique portée par l'ambre.

6 Force électrostatique

- Représenter sans souci d'échelle la force électrostatique d'un proton sur un électron. Même question pour un électron sur un autre électron.

7 Force gravitationnelle

- Représenter sans souci d'échelle la force d'attraction gravitationnelle d'un électron sur un autre électron.

8 Loi de Coulomb

- Calculer l'intensité de la force électrostatique d'un électron sur un autre électron situé à 1,0 mm de lui.

9 Force gravitationnelle

- Calculer l'intensité de la force gravitationnelle d'un électron sur un autre électron situé à 1,0 μm de lui.

10 Champ électrostatique

- Calculer l'intensité du champ électrostatique créé par un électron à 1,0 mm de lui.

11 Champ gravitationnel

- Calculer l'intensité du champ gravitationnel créé par un électron à 1,0 μm de lui.

12 De E à F_e

- Calculer la force électrostatique subie par un électron dans un champ électrostatique de $3,0 \times 10^{-15} \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$.

Pour commencer

Électrisation

13 De l'or et de la laine

- RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

On frotte un morceau de laine avec une bille d'or.

- À l'aide de la table triboélectrique (Doc. 1, p. 220), identifier le sens dans lequel se fait l'échange d'électrons.
- Schématiser la répartition des charges après ce frottement sur le morceau de laine et sur la bille en or.

14 Frottement et contact

- RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

On frotte un morceau de cuivre avec un morceau de laine. Ensuite on met en contact le morceau de cuivre avec une bille en aluminium.

- À l'aide de la table triboélectrique (Doc. 1, p. 220), identifier la charge portée par le morceau de cuivre.
- Représenter les répartitions des charges portées par le cuivre et par la bille d'aluminium.

15 Électrisation par influence

- RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

On approche une bille en cuivre chargée positivement d'une seconde bille en cuivre, sans que les deux billes se touchent.

- Représenter les répartitions des charges portées par les deux billes au moment où elles sont proches l'une de l'autre.

 F_g et F_e 16 Comprendre le vocabulaire lié à F_g

- APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Indiquer en le justifiant si ces affirmations sont exactes.

- La force d'attraction gravitationnelle est une force répulsive.
- La force d'attraction gravitationnelle ne s'exerce qu'entre des corps possédant une masse.
- La force d'attraction gravitationnelle ne dépend pas de la distance entre les corps.

17 Comprendre le vocabulaire lié à F_e

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Sans justifier, indiquer si ces affirmations sont exactes.
- a. La force électrostatique est une force qui peut être répulsive ou attractive.
- b. La force électrostatique ne peut s'exercer qu'entre des corps possédant une masse.
- c. La force électrostatique ne dépend pas de la distance entre les corps.
- d. La force électrostatique s'exerce entre deux corps électriquement neutres.

18 S'approprier le vocabulaire

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Corriger ces affirmations.
- a. Lorsque deux corps s'éloignent, l'intensité des forces gravitationnelle et électrostatique qui s'exercent entre eux augmente.
- b. La force gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Lune est plus petite que celle exercée par la Lune sur le Soleil.
- c. L'intensité de la force électrostatique s'exerçant entre deux protons est plus petite que celle s'exerçant entre deux électrons situés à une même distance.

Champs gravitationnel et électrostatique

19 S'approprier le vocabulaire

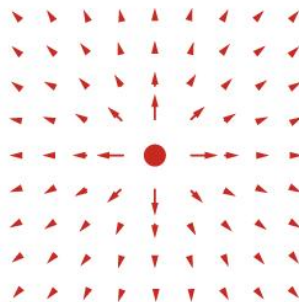
✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Corriger ces affirmations.
- a. Les champs gravitationnel et électrostatique sont des champs scalaires.
- b. Un champ électrostatique est toujours répulsif.
- c. Le champ gravitationnel créé par la Terre est un champ uniforme.
- d. Le champ gravitationnel de la Lune s'intensifie si on s'éloigne de la Lune.
- e. Les champs électrostatique et gravitationnel créés par un proton en un point X sont proportionnels à la distance qui sépare ce proton du point X.

20 Étude d'un champ électrostatique

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

1. À l'aide de l'orientation des lignes de champ, identifier le signe de la charge à l'origine du champ représenté.
2. Identifier la zone où le champ est le plus intense.



Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Force et champ de gravitation

21 Champ gravitationnel du Soleil

✓ MATH : Utiliser le modèle vecteur

1. Représenter les lignes du champ gravitationnel du Soleil, puis le vecteur \vec{g}_{Soleil} sur la Terre.
2. Donner l'expression de g_{Soleil} .
3. Calculer g_{Soleil} subi par la Terre, puis par Jupiter.
4. Comparer ces deux valeurs.

22 Champ gravitationnel du Soleil

✓ MATH : Utiliser le modèle vecteur

1. Représenter les lignes du champ gravitationnel du Soleil, puis le vecteur \vec{g}_{Soleil} sur la Terre.
2. Donner l'expression de g_{Soleil} , puis calculer g_{Soleil} sur la Terre.
3. Réécrire l'expression de g_{Soleil} sous la forme $d = \dots$.

4. Déterminer la distance à laquelle la Terre doit s'éloigner du Soleil pour que le champ gravitationnel qu'elle subit soit un million de fois moins intense.

23 Champ gravitationnel du Soleil

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Déterminer la distance à laquelle la Terre doit s'éloigner du Soleil pour que le champ gravitationnel qu'elle subit soit trois millions de fois moins intense.



Données

- $m_{\text{Terre}} = 5,974 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- $m_{\text{Soleil}} = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$;
- $d_{\text{Soleil/Terre}} = 1,496 \times 10^8 \text{ km}$;
- $d_{\text{Soleil/Jupiter}} = 778,6 \times 10^6 \text{ km}$.

Soulever une bille ?

Énoncé

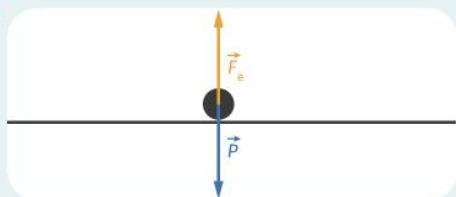
Une bille métallique de 40 g, portant une charge électrique égale à $-15e$, est posée sur une table. On approche, 10 cm au-dessus d'elle, une seconde bille métallique portant une charge électrique égale à $+10e$. L'interaction gravitationnelle entre les billes est négligée. Les charges électriques des deux billes sont-elles suffisantes pour que la seconde bille soulève la première ?



1. Sans souci d'échelle, schématiser la situation et les forces, subies par la bille supposée en lévitation au-dessus de la table.
2. Calculer l'intensité de la force électrostatique subie par la bille.
3. Calculer l'intensité de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la bille.
4. L'hypothèse de la question 1. est-elle justifiée ?
5. Reprendre les trois dernières questions avec des billes de charges un million de fois supérieures.

Solution rédigée

1.



$$2. F_e = k \cdot \frac{|q_{bille1} \cdot q_{bille2}|}{d^2} = k \cdot \frac{|-15e \cdot 10e|}{(10 \times 10^{-2})^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{150 \times (1,602 \times 10^{-19})^2}{(10 \times 10^{-2})^2} = 3,5 \times 10^{-24} \text{ N.}$$

$$3. F_g = P = m \cdot g = 40 \times 10^{-3} \times 9,81 = 3,9 \times 10^{-1} \text{ N.}$$

4. La bille restera immobile, car $F_g \gg F_e$.

$$5. F'_e = k \cdot \frac{|-15e \cdot 10e|}{d^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{15 \times 10^6 \times 10 \times 10^6 \times (1,602 \times 10^{-19})^2}{(10 \times 10^{-2})^2} = 3,5 \times 10^{-12} \text{ N.}$$

Le poids est toujours plus intense que la force électrostatique subie, la bille restera donc encore immobile.

DONNÉES

- $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$;
- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. L'objectif d'un schéma est de représenter la situation, afin de donner plus de sens à la situation décrite, mais aussi aux calculs qui vont suivre.
2. Calculer l'intensité d'une force électrostatique avec la loi de Coulomb.
3. À la surface de la Terre, la force gravitationnelle est approximée par le poids : $P = m \cdot g$.
4. Quelle condition sur les forces doit-il y avoir pour que la bille s'élève ? pour que la bille reste immobile ?
5. Seule les charges changent, on a donc seulement besoin de recalculer F_e .

POUR BIEN RÉPONDRE

1. L'origine des vecteurs forces est située sur le récepteur de la force : ici les deux vecteurs partent donc de la bille qui subit les actions gravitationnelle de la Terre et électrostatique de la 2^e bille.
2. et 3. Lors d'un calcul, on écrit toujours en premier la formule de manière littérale, puis on la réécrit en introduisant les valeurs appropriées. Attention aux unités, il est important de travailler en unités SI.
4. Ici, il faut comparer les deux intensités des deux forces calculées et déterminer laquelle surpasse l'autre.
5. Seules les charges électriques sont modifiées, il suffit donc de recalculer F_e .

24 Mise en application

- Reprendre les deux situations décrites plus haut, mais cette fois sur la Lune.

Donnée

$$g_{\text{Lune}} = 1,62 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

Pour s'entraîner

25 Électroscope

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

L'abbé Nollet, au XVIII^e siècle, met au point un appareil capable de mettre en évidence la charge électrique d'un objet. Pour ce faire, on approche l'objet chargé du sommet de l'électroscope, sans le toucher. La partie conductrice de celui-ci s'électrise par influence et les deux feuilles métalliques s'écartent l'une de l'autre.



- Schématiser la répartition des charges dans la partie conductrice de l'électroscope lorsqu'on approche un objet chargé positivement du sommet de celui-ci.

26 Un électron qui tourne autour d'un noyau, une Lune qui tourne autour d'une planète

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



L'atome d'hydrogène est constitué d'un proton et d'un électron. Selon le modèle de l'atome établi par Rutherford, l'électron gravite autour du proton, à la manière de la Lune qui gravite autour de la Terre.

1. Identifier des arguments allant dans le sens du modèle planétaire de l'atome.
2. Identifier des arguments révoquant ce modèle.

Données

• $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$;	• $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
• $m_{\text{proton}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;	• $m_{\text{électron}} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

27 Atome d'hélium, F_e et F_g

✓ MATH : Vecteur

Un atome d'hélium 4 est noté ${}^4_2\text{He}$.

1. Donner la composition de cet atome.

Un atome d'hélium possède un rayon approximatif de $r = 31 \text{ pm}$.

2. En considérant le noyau comme ponctuel, calculer l'intensité de la force électrostatique exercée par un proton du noyau sur un des électrons du cortège électronique.

3. Sans souci d'échelle, représenter cette force sur un schéma.
4. Calculer l'intensité de la force gravitationnelle de ce proton sur cet électron.
5. Calculer le rapport de ces deux intensités. Commenter.

Données

• $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;	• $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$;
• $m_{\text{nucéon}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;	• $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$.
• $m_{\text{électron}} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$;	

Comprendre les attendus

28 Un ion cuivre Cu^{2+}

✓ MATH : Calcul littéral

1. Donner la composition du noyau et du nuage électronique d'un ion cuivre Cu^{2+} .
2. Calculer la charge électrique portée par cet ion.
3. Représenter les lignes du champ électrostatique créé par cet ion, modélisé par un point.
4. Calculer l'intensité du champ électrostatique que cet ion engendre à 1,0 cm de lui.
5. Calculer l'intensité du champ gravitationnel que cet ion engendre à 1,0 cm.



Données

• $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;	• ${}^{63}_{29}\text{Cu}$;
• $m_{\text{nucéon}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;	• $m_{\text{électron}} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

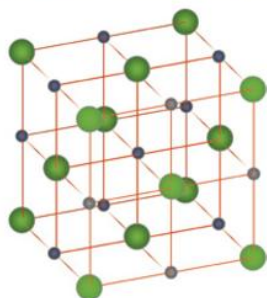
Détails du barème

TOTAL/7 pts

- | | |
|--|--------|
| 1. Identifier le nombre de protons et de neutrons à partir de Z et A. | 1 pt |
| Identifier le nombre d'électrons à partir de Z et de la formule de l'ion cuivre (II) Cu^{2+} . | 1 pt |
| 2. Identifier le calcul, le réaliser avec la bonne unité et le nombre correct de chiffres significatifs. | 1 pt |
| 3. Représenter correctement des lignes de champ, bien orientées. | 1 pt |
| 4. Identifier et utiliser la relation $E = k \cdot \frac{q}{d^2}$ avec la bonne unité et le nombre de chiffres significatifs corrects. | 1,5 pt |
| 5. Identifier et utiliser la relation $g = G \cdot \frac{m}{d^2}$ avec la bonne unité et le nombre de chiffres significatifs corrects. | 1,5 pt |

35 Cohésion d'un cristal de sel

✓ MATH : Calcul littéral



Le sel de cuisine est appelé en chimie solide ionique de chlorure de sodium. On parle de solide ionique, car les liaisons mises en jeu sont des liaisons ioniques et non covalentes. On peut donc considérer que le chlore et le sodium sont présents dans ce solide sous forme ionique, soit Cl^- et Na^+ .

Une maille de ce cristal est représentée ci-contre, les ions chlorure en vert et les ions sodium en bleu.

On remarque une alternance des ions sodium et chlorure : les voisins immédiats d'un ion sont de charge opposée.

1. À l'aide de cette dernière phrase, expliquer la cohésion d'un cristal ionique, engendrée par les forces électrostatiques mises en jeu.

On s'intéresse maintenant aux forces électrostatiques subies par un ion sodium.

2. Identifier le nombre d'ions chlorure les plus proches d'un ion sodium.
3. Identifier le nombre d'ions sodium les plus proches d'un ion sodium.
4. À l'aide de la maille représentée, calculer la distance $d_{\text{Na-Cl}}$ entre les centres d'un ion sodium et un ion chlorure.
5. Calculer la valeur de la force électrostatique $F(\text{Cl}^-/\text{Na}^+)$ exercée par un ion chlorure sur un ion sodium.
6. En appliquant le théorème de Pythagore, déterminer la distance $d_{\text{Na-Na}}$ séparant deux ions sodium, en fonction de a .
7. Calculer la valeur de la force $F(\text{Na}^+/\text{Na}^+)$ exercée par un ion sodium sur un autre ion sodium.
8. Les résultats des questions 5. et 7. confirment-ils la cohésion du cristal ?

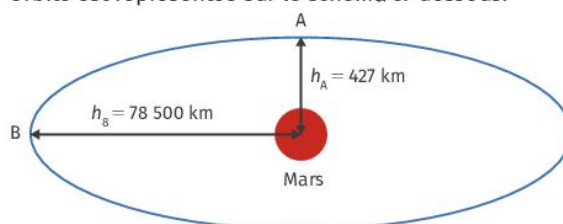
Données

- $r(\text{Na}^+) = 102 \text{ pm}$;
- $r(\text{Cl}^-) = 181 \text{ pm}$;
- $a = 564 \text{ pm}$;
- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$.

36 Observer Mars

✓ MATH : Calcul littéral

Le satellite MOM (Mars Orbiter Mission) a été lancé en novembre 2013. Il a pour objectif d'étudier l'atmosphère de Mars. Il possède une masse d'environ 1350 kg. Son orbite est représentée sur le schéma ci-dessous.



- Calculer la différence des intensités des forces gravitationnelles exercées par Mars sur le satellite MOM lorsque ce dernier passe du point A au point B.

37 La matière : du vide et des charges

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

La matière est lacunaire, c'est-à-dire majoritairement constituée de vide. De plus, elle est constituée de particules neutres, les neutrons, ainsi que de particules chargées, les protons et les électrons.

1. Expliquer la cohésion de la matière par les interactions électrostatiques.
2. À l'aide des positions respectives des électrons et des protons au sein de l'atome, expliquer qu'un livre posé sur une table ne passe pas au travers de celle-ci.

38 La Lune s'éloigne

✓ MATH : Calcul littéral



La Lune s'éloigne chaque année de 3,8 cm de la Terre.

1. Cet éloignement influence-t-il la valeur de la force gravitationnelle qui s'exerce entre les deux astres ?
2. De quelle distance la Lune se sera-t-elle éloignée de la Terre dans 10 000 ans ?
3. Quelle sera alors la valeur de la force gravitationnelle entre les deux astres ?

Données

- $m_{\text{Terre}} = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- $m_{\text{Lune}} = 7,3 \times 10^{22} \text{ kg}$;
- $d_{\text{Terre-Lune}} = 3,84 \times 10^5 \text{ km}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$.

40 Un morceau de charbon chargé

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Soit un morceau de charbon dont la masse est égale à 100 g. On considère qu'il n'est constitué que d'atomes de carbone et qu'on lui a enlevé 1 % de ses électrons. Un électron est situé à 1,0 m de ce morceau de charbon.

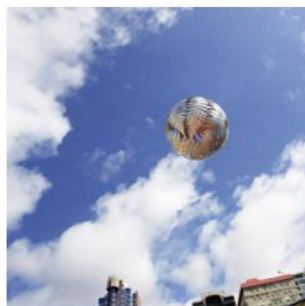
- Déterminer la masse hypothétique nécessaire que devrait avoir l'électron pour que la force gravitationnelle qu'il subit compense la force électrostatique du morceau de charbon. Commenter votre résultat.

Données

- $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.

41 Lévitaiton d'une bille métallique

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Soit une bille métallique de masse égale à 20 g, de charge électrique égale à $q_b = +25e$, positionnée à la surface de la Terre, dans un champ électrostatique \vec{E} , vertical et orienté vers le haut.

- Schématiser la situation, puis déterminer l'intensité de E , telle que la bille soit immobile en l'air.

Données

- $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.

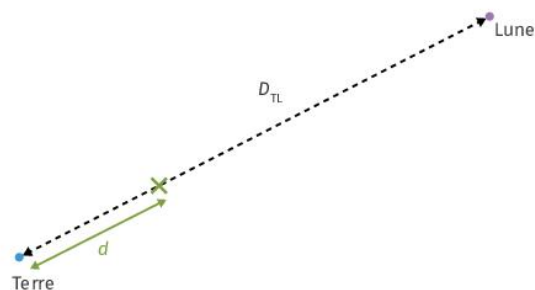
42 Champ gravitationnel de la Terre et de la Lune

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

1. Déterminer la longueur d , telle qu'au point x les champs gravitationnels de la Lune et de la Terre soient de même intensité. d sera exprimée en fonction de la masse M_T de la Terre, de la masse M_L de la Lune et de la distance D_{TL} entre la Terre et la Lune.
2. Comparer numériquement cette distance d à la distance Terre-Lune D_{TL} .

Données

- $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$;
- $D_{TL} = 384\,000 \text{ km}$.



Retour sur la problématique du chapitre

43 Les orages

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

Lors d'un orage, les molécules constituant les nuages s'ionisent et des charges électriques apparaissent. Ces charges se séparent telles que la moyenne des charges en bas du nuage soit négative et celle en haut positive. Par l'influence de ces nuages, le sol se charge positivement.

- Expliquer l'action de ces charges sur l'air situé entre les nuages et le sol.





Les interactions fondamentales

Objectifs :

- Préparer le cours en s'appropriant le vocabulaire et les notions concernant les interactions fondamentales.
- Réaliser un bilan synthétique des notions abordées sous la forme d'une présentation.

A Charges électriques et force électrostatique



Utiliser l'application « Ballons et électricité statique » sur [LLS.fr/PC1ElectriciteStatique](https://lls.fr/PC1ElectriciteStatique). Sélectionner le mode deux ballons en faisant apparaître les charges électriques. Tester l'application en faisant bouger les deux ballons et répondre aux questions.

1. Quels sont les deux types de charges électriques ?
2. Décrire l'interaction entre deux charges électriques du même type puis entre deux de différents types.



Utiliser l'application « Loi de Coulomb » sur [LLS.fr/PC1LoiCoulomb](https://lls.fr/PC1LoiCoulomb) avec l'échelle macroscopique.

3. Décrire les forces s'exerçant sur les charges électriques q_1 et q_2 selon les signes de q_1 et q_2 .
4. Comment évolue la valeur des forces électrostatiques quand on divise la valeur de l'une des charges électriques par 2 ? par 3 ? par 4 ?
5. Pour deux valeurs de charges électriques q_1 et q_2 , relever les valeurs des forces électrostatiques pour différentes distances séparant les centres des deux charges.
6. Représenter vos résultats en traçant les valeurs de la force en fonction de d , puis en fonction de $\frac{1}{d^2}$.

B Force gravitationnelle



vidéo



Utiliser l'application « Force de gravité » sur [LLS.fr/PC1ForceDeGravite](https://lls.fr/PC1ForceDeGravite). Tester l'application avec différentes valeurs pour les masses m_1 et m_2 .

1. Quelle différence notable y a-t-il entre la force électrostatique et la force gravitationnelle ?
2. La valeur de la force d'interaction gravitationnelle que deux corps exercent l'un sur l'autre dépend de trois grandeurs physiques : la masse m_1 du corps 1, la masse m_2 du corps 2 et la distance d qui sépare les deux centres des corps. En utilisant l'animation, un logiciel tableur-grapheur et le modèle ci-contre,

créer 3 tableaux permettant d'étudier l'influence de chaque grandeur physique sur la valeur de la force gravitationnelle.

Grandeur 1	Valeur de F

Aide : Par exemple, saisir les valeur de F quand m_1 varie et que m_2 et d sont constantes.

3. À l'aide des fonctionnalités du logiciel, représenter l'évolution de F en fonction de m_1 , puis de m_2 et finalement de $\frac{1}{d^2}$.

C Synthèse



Réaliser un bilan synthétisant les notions principales abordées en utilisant un logiciel de présentation sur [LLS.fr/PC1P233](https://lls.fr/PC1P233). La présentation doit inclure :

- une comparaison des caractéristiques des forces électrostatique et gravitationnelle sous la forme de schémas et d'un tableau ;
- une description illustrée par des graphiques, des grandeurs physiques dont dépendent les forces électrostatique et gravitationnelle ;
- des exemples de phénomènes impliquant individuellement chacune des forces.