



CH 4 : INTERACTIONS, FORCES ET CHAMPS

(Chapitre 10 du livre p 173)

(THÈME 2 : MOUVEMENT ET INTERACTIONS)

Activité 1 : L'interaction électrostatique

Pourquoi nos cheveux se dressent-ils lorsque l'on enlève un pull-over en laine ?

Objectif : Utiliser des observations et des documents pour répondre à une problématique

Doc. 1 Table triboélectrique

+	↑	Fourrure de lapin
		Verre
		Cheveux
		Nylon
		Laine
		Fourrure de chat
		Aluminium
		Papier
		Acier
		Ambre
		Cuivre
		Or
-	↓	Polystyrène
		PVC

Cette table permet de déterminer le matériau qui cède et celui qui reçoit les électrons lors d'une électrisation par frottement entre eux

Doc. 2 Electrification par influence ou par contact

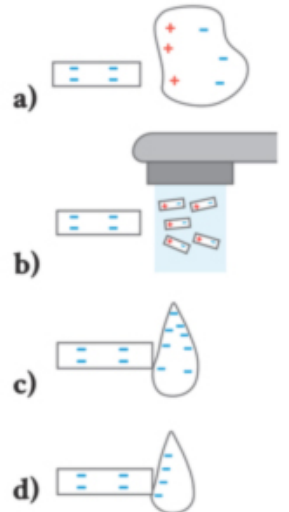
Selon leur composition, les corps ont des réponses différentes à l'influence de charges électriques :

a) on approche un matériau chargé d'un matériau conducteur : la répartition des charges est modifiée dans le conducteur ;

b) on l'approche d'une substance dipolaire : les dipôles s'orientent ;

c) on met en contact un objet chargé avec un objet conducteur : la charge électrique se répartit à la surface ;

d) on le met en contact avec un objet non conducteur : une partie de la charge est transférée à l'objet à l'endroit du contact puis les deux objets se repoussent.



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- L'électrification par contact consiste à transférer les électrons d'un corps chargé à un autre quand ces corps se touchent.
- L'électrification par frottement consiste à arracher ou à déposer des électrons sur un objet que l'on frotte.
- L'électrification par influence consiste à modifier la répartition des électrons dans un matériau à l'approche d'un corps chargé, sans contact. Le matériau reste électriquement neutre.

Doc. 3 Force électrostatique, loi de Coulomb

La force électrostatique modélise l'action d'un corps chargé sur un autre.

Cette force est décrite par la loi énoncée par Coulomb en 1785 :

$$F_e = k \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{d^2}$$

où d est la distance entre les deux centres des objets en mètre (m), q_1 et q_2 sont les charges électriques portées par les objets 1 et 2 en coulomb (C) et $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ (constante de coulomb).

Questions

1. Frotter l'une après l'autre deux pailles en plastique (dont l'une est suspendue en son centre de gravité par un fil) contre un morceau de papier essuie-tout ou de laine.
Approcher ensuite les deux pailles l'une de l'autre. Qu'observe-t-on ? Interpréter.
2. Frotter une baguette en verre contre un morceau de papier essuie-tout ou de laine.
Approcher ensuite la baguette de la paille suspendue. Qu'observe-t-on ? Interpréter.
3. Une charge électrique se note Q . Son unité est le coulomb (C).
A l'aide d'un coulombmètre (mesureur de charge électrique), mesurer la charge de la tige en verre frottée et la charge de la paille frottée.
Les mesures de charge confirment-elles les observations et interprétations précédentes ?
Donner un ordre de grandeur de la valeur de la force électrostatique existant entre la tige en verre électrisée et la paille électrisée lorsqu'elles sont séparées d'une distance $d = 1 \text{ cm}$.
4. Approcher la paille chargée d'une petite boule d'aluminium suspendue à un fil.
Qu'observe-t-on dans un premier temps ? Interpréter.
Mettre la paille en contact de la boule d'aluminium. Qu'observe-t-on l'instant suivant le contact ?
Interpréter.
5. Défi : à l'aide du matériel à disposition, comment dévier sans contact un filet d'eau vers un verre placé à quelques centimètres de sa verticale ?
6. Expliquer pourquoi dans l'expérience précédente, le filet d'eau subit une force d'attraction et non de répulsion.
7. Schématiser chaque situation sur le modèle du document 2.

Synthèse de l'activité

Expliquer ce qu'il se passe lorsque nos cheveux montent en l'air après avoir enlevé un pull en laine.
De quels paramètres l'interaction électrostatique dépend-elle ?



CH 4 : INTERACTIONS, FORCES ET CHAMPS (Chapitre 10 du livre p 173)

(THÈME 2 : MOUVEMENT ET INTERACTIONS)

Activité 2 : Force gravitationnelle et force électrostatique

Objectif : Étudier les analogies et les différences entre la force électrostatique et la force gravitationnelle

Une action électrostatique est modélisable par une force dont les caractéristiques rappellent la force gravitationnelle.

Doc.1 Force électrostatique entre particules chargées

- **Direction** : droite qui passe par les deux particules considérées.
- **Sens** : force attractive si les particules ont des charges électriques opposées, répulsive si leurs signes sont les mêmes.
- **Norme** : donnée par la loi de Coulomb, établie en 1785 :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = k \cdot \frac{|q_A q_B|}{r^2}$$

avec $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$
(Constante de coulomb)

q_A et q_B : charges électriques des particules placées en A et B, en coulombs (C)

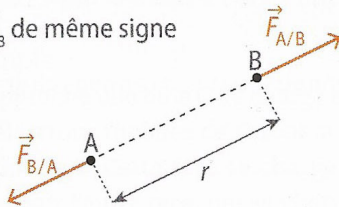
$\vec{F}_{A/B}$: force électrostatique exercée par A sur B

$\vec{F}_{B/A}$: force électrostatique exercée par B sur A

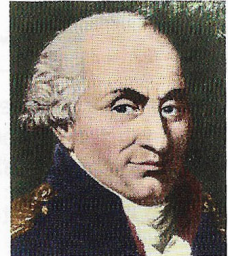
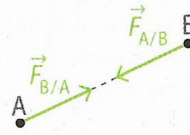
$F_{A/B}$ et $F_{B/A}$: normes, en newtons (N)

r : distance entre les deux particules, en mètres (m)

q_A et q_B de même signe



q_A et q_B de signes opposés



Charles-Augustin Coulomb
(1736-1806).

Vocabulaire

- L'ordre de grandeur de la valeur d'une grandeur physique est la puissance de dix la plus proche de cette valeur.

Exemples

- L'ordre de grandeur de la distance 23,77 m est 10^1 m .
- L'ordre de grandeur de la tension $6,39 \times 10^5 \text{ V}$ est 10^6 V .

MaThs

Comme tout vecteur, le vecteur force est caractérisé par :

- **sa direction** : la droite qui porte le vecteur force ;
- **son sens** : l'orientation du vecteur force ;
- **sa norme** : celle du vecteur force s'exprime en newtons (de symbole N).

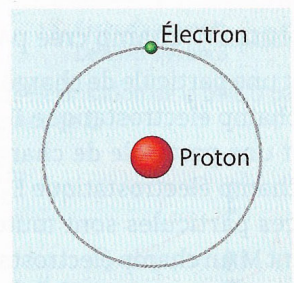
Doc.2 L'atome d'hydrogène : modèle planétaire

Pour représenter l'atome d'hydrogène, on utilise parfois le modèle planétaire. Dans ce modèle incomplet, l'atome est constitué d'un proton central autour duquel un électron unique tourne. La distance proton-électron est $5,3 \times 10^{-11} \text{ m}$.

	Électron	Proton
Charge électrique	$-e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$	$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Masse	$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Questions

1. Force électrostatique $\vec{F}_e$ exercée par le proton sur l'électron
 - a. Justifier le fait que cette force est attractive et calculer sa norme F_e (doc. 1).
 - b. Reproduire le schéma simplifié de l'atome d'hydrogène (doc. 2) et y représenter cette force à l'échelle 1 cm pour 10^{-8} N .
2. Force gravitationnelle $\vec{F}_g$ exercée par le proton sur l'électron
 - a. Cette force gravitationnelle peut-elle être répulsive ? Justifier.
 - b. Calculer la norme F_g de cette force et la comparer avec F_e .
 - c. Peut-on ajouter $\vec{F}_g$ au schéma de la question 1b, à la même échelle ?
3. Calculer l'ordre de grandeur* de F_e puis celui de F_g , puis leur quotient. Présenter le résultat sous la forme « X est 10^n fois plus grande que Y ».



Bilan

- Dresser la liste des points communs et des différences qui existent entre la force gravitationnelle et la force électrostatique.



CH 4 : INTERACTIONS, FORCES ET CHAMPS (Chapitre 10 du livre p 173)

(THÈME 2 : MOUVEMENT ET INTERACTIONS)

Activité 3 : Champ et météorologie

Document 1. Notion de champ en météorologie

Les phénomènes météorologiques sont gouvernés par quatre paramètres : la **température**, la **pression**, l'**humidité relative** et la **vitesse** du vent. Décrire l'état de l'atmosphère nécessite de connaître l'ensemble des valeurs de ces quatre paramètres en tout point de coordonnées (x, y, z) à un instant donné t . L'ensemble des valeurs de la température en chaque point de coordonnées (x, y, z) représentées sur la **figure 1** s'appelle champ de températures. Le champ de pressions de la **figure 2** et le champ de vitesses de la **figure 3** se définissent de manière identique. Certaines d'entre elles sont des grandeurs scalaires (ce sont des nombres avec une unité), d'autres sont des **grandeurs vectorielles** (avec une direction, un sens et une norme, que nous appellerons la valeur du vecteur).

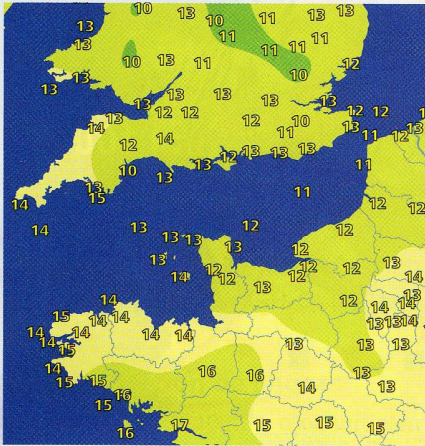


Fig. 1 Courbes isothermes.

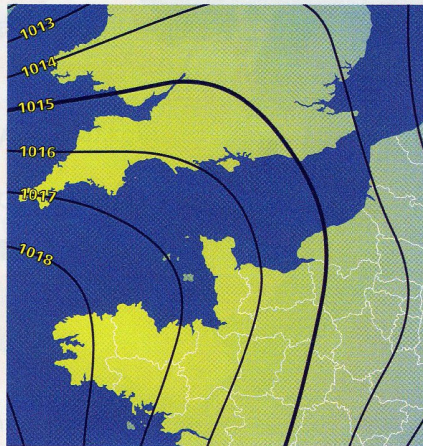


Fig. 2 Courbes isobares.

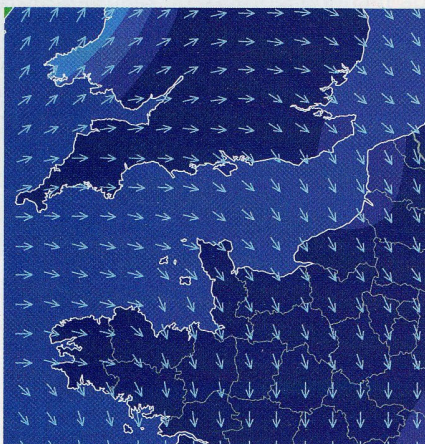


Fig. 3 Lignes de vitesses des vents.

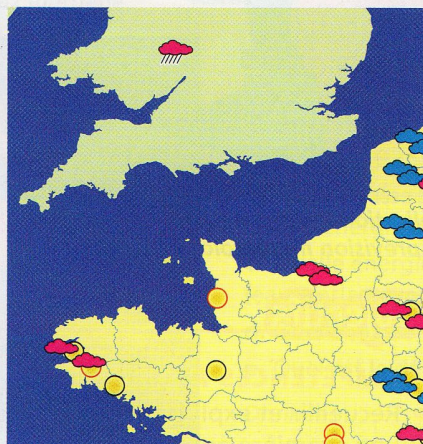


Fig. 4 Carte du temps.

QUESTIONS

a Quelles sont les grandeurs scalaires mentionnées dans le texte ? Quelles sont les grandeurs vectorielles ?

b Rechercher le sens des mots *isotherme* et *isobare*. Qu'appelle-t-on courbe isotherme ? courbe isobare ? Où sont-elles visibles sur les figures 1 à 4 ?

c À partir de l'observation des figures 2 et 4, établir des liens entre les zones de beau ou mauvais temps et les zones de basse ou haute pression.

d Donner l'ordre de grandeur du nombre de points d'une grille d'analyse météo pour la totalité de l'atmosphère terrestre, dont le pas horizontal est de 100 km et le pas vertical de 100 m.

Données :

Hauteur de la troposphère : 10 km.

Rayon de la Terre : $6,4 \cdot 10^3$ km.

e) Les météorologistes observent l'atmosphère et les océans pour comprendre l'évolution du temps.

Quelles sont les grandeurs utilisées ?

Document 2. Petite histoire des champs en météorologie

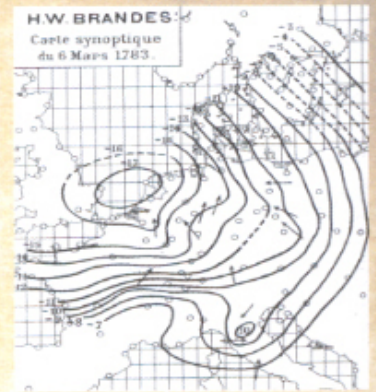
La météorologie scientifique débute à la fin du XVIII^e siècle, quand les Français Jean-Charles DE BORDA (1733-1799) et Antoine DE LAVOISIER (1743-1794) observent simultanément l'évolution de la pression en divers points de la France. Ils constatent que les valeurs obtenues dépendent du lieu. On parle alors de champ de pression.

Pour étudier le temps en Europe, l'Allemand Heinrich Wilhelm BRANDES (1777-1834) relie sur une carte les points d'égale pression (carte ci-contre). Il obtient des lignes appelées lignes isobares.

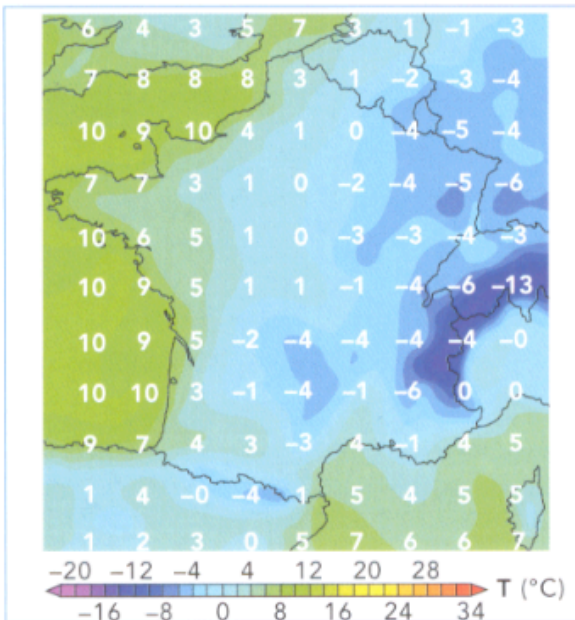
Aujourd'hui encore, pour analyser une situation météorologique, le champ de pression demeure un élément fondamental.

De nombreux autres champs sont également utilisés en météorologie

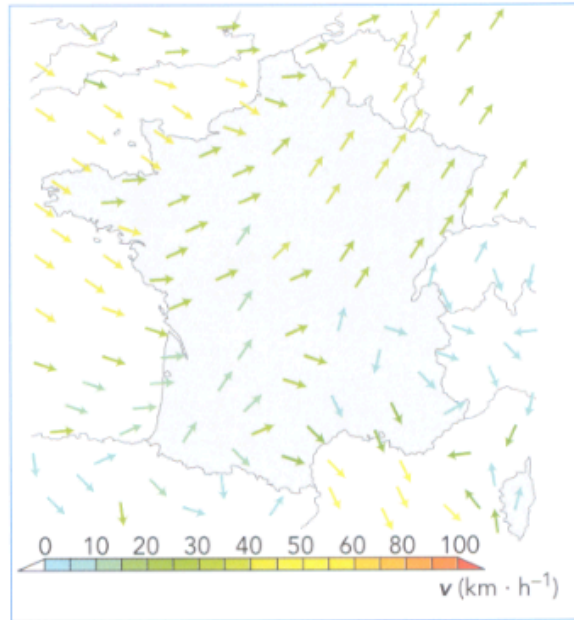
et servent de support aux informations destinées au grand public : carte de champ de température (doc 3) ou carte de champ de vitesse du vent (doc 4) par exemple.



Document 3 : Carte de température



Document 4 : Carte de la vitesse du vent



- Que représentent les lignes sur la carte du document 2 ? Comment les nomme-t-on ?
- Que représentent les différentes zones colorées de la carte du document 3 ?
- Quelles informations peut-on tirer de la carte du document 4 ?
- Qu'appelle-t-on grandeur physique scalaire ? Grandeur physique vectorielle ?
- Sachant que la température est un champ scalaire et la vitesse du vent un champ vectoriel, indiquer les différences entre ces deux types de champ.



CH 4 : INTERACTIONS, FORCES ET CHAMPS

(Chapitre 10 du livre p 173)

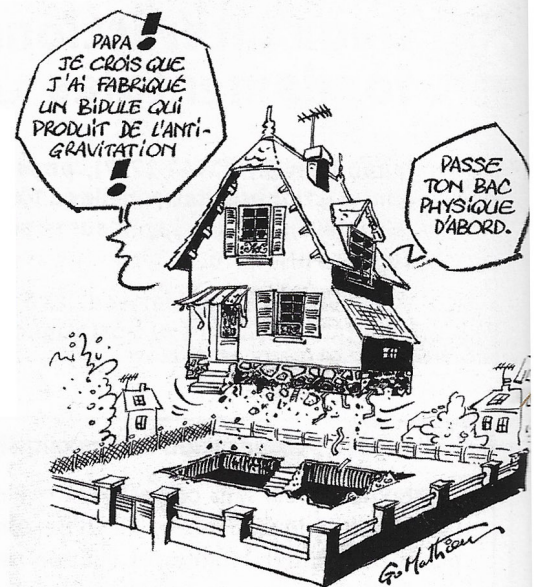
(THÈME 2 : MOUVEMENT ET INTERACTIONS)

Activité 4 : Force et champ

Au début du XIX^e siècle, le scientifique britannique Michael Faraday (1791-1867) propose de décrire les interactions à distance par des lignes de force qui se répartissent dans tout l'espace. Grâce à lui se développe alors la notion de champ de vecteurs.

● Comment relier une force et un champ : **DIFFÉRENCIATION**

a. de gravitation ? b. électrostatique ?



DONNÉES

Caractéristiques du champ de gravitation et du champ électrostatique

Champ de gravitation	Champ électrostatique
Un champ de gravitation $\vec{G}$ peut être créé en tout point de l'espace par un objet. La relation entre le champ de gravitation $\vec{G}$ et la force de gravitation $\vec{F}$ exercée par cet objet sur un point matériel de masse m est : $\vec{G} = \frac{\vec{F}}{m}$	Un champ électrostatique $\vec{E}$ peut être créé en tout point de l'espace par un objet chargé. La relation entre le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}$ exercée par cet objet sur un point matériel de charge électrique q est : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

Questions

1 ANALYSER-RAISONNER

- Donner les caractéristiques du vecteur qui représente la force $\vec{F}_1$ dans le cas étudié **a** ou **b**.
- Donner les caractéristiques du vecteur qui représente le champ étudié en **a** ou en **b**.
- Déterminer si la norme du champ étudié en **a** ou en **b** varie si on modifie la masse m ou la charge q du point matériel sur lequel il s'applique.

- Déterminer l'unité de la norme du champ étudié en **a** ou en **b**.



CH 4 : INTERACTIONS, FORCES ET CHAMPS (Chapitre 10 du livre p 173)

(THÈME 2 : MOUVEMENT ET INTERACTIONS)

Activité 5 : Expérience de Millikan

Plusieurs grands scientifiques, tels que Dufay ou Millikan, ont eu l'idée d'étudier le comportement de gouttelettes chargées introduites entre deux plaques chargées.

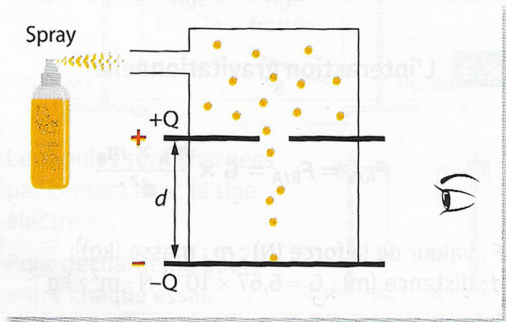
Comment les champs gravitationnel et électrostatique permettent-ils d'expliquer le mouvement des gouttes ?

Doc. 1 Expérience de la goutte d'huile de Millikan

L'expérience consiste à pulvériser de minuscules gouttes d'huiles électrisées entre les deux plaques horizontales portant des charges de signes opposés.

Les minuscules gouttes subissent plusieurs forces qui s'équilibrent rapidement et font que chaque goutte se déplace étonnamment en ligne droite à vitesse constante.

Dans l'expérience, les gouttes d'huile sont chargées négativement et les forces de frottement sont négligeables.



Doc. 2 Champ et force

Il existe des forces qui découlent de l'existence d'un champ dans un espace donné.

Un objet de masse m et de charge q est placé dans un champ gravitationnel $\vec{g}$ et un champ électrostatique $\vec{E}$. Les forces qui découlent de ces champs sont données par :

$$\vec{F}_e = q \times \vec{E} \quad \text{et} \quad \vec{F}_g = m \times \vec{g}$$

$\vec{F}_e$ et $\vec{F}_g$: respectivement les forces d'interaction gravitationnelle et électrostatique, subies par l'objet, en newtons (N)

q : charge en coulombs (C)

m : masse en kilogrammes (kg)

Un **champ** est dit **uniforme** dans une région de l'espace si ses caractéristiques (valeur, direction, sens) sont les mêmes en tout point de cette région.

Doc. 3 Données

Masse d'une goutte d'huile : $m_g = 1,18 \times 10^{-15}$ kg

Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg

Rayon de la Terre : $R_T = 6\,371$ km

Charge d'une goutte d'huile : $q = -8,98 \times 10^{-19}$ C

Appropriation et analyse

→ S'approprier

→ Analyser

Conclusion

De l'activité au cours

1 D'après les docs 2 et 3, déterminer l'expression vectorielle puis calculer la valeur de la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant sur une goutte d'huile du doc. 1. En déduire les caractéristiques du champ gravitationnel $\vec{g}$.

2 Énoncer la première loi de Newton (principe de l'inertie) et, en utilisant le doc. 2, déterminer les caractéristiques du champ électrostatique $\vec{E}$.

3 En utilisant le principe de l'inertie pour la goutte chargée, indiquer les valeurs des forces exercées sur cette goutte. Faire un schéma de l'expérience du doc. 1 pour les représenter en respectant l'échelle $1 \text{ cm} \leftrightarrow 5 \times 10^{-15} \text{ N}$.

4 Les champs gravitationnel et électrostatique étant considérés comme uniformes, les représenter sur un schéma sans souci d'échelle.



CH 4 : INTERACTIONS, FORCES ET CHAMPS (Chapitre 10 du livre p 173)

(THÈME 2 : MOUVEMENT ET INTERACTIONS)

Activité 6 : Estimer la valeur du champ de pesanteur terrestre

Tout humain est soumis à l'attraction gravitationnelle de la Terre et il baigne par conséquent dans son champ gravitationnel.

→ Quelle est l'intensité du champ gravitationnel de la Terre ?

Doc. 1 Le pendule simple

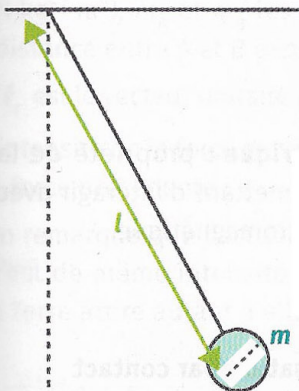
Un pendule est un système constitué d'une masse suspendue à l'aide d'un fil. On lui associe le terme simple dans le cas où on néglige la masse du fil devant la masse de l'objet suspendu et où on modélise la masse par un point.

Au XVII^e siècle, Christian Huygens (1629-1695) met en équation le lien entre la période T des oscillations d'un pendule, la longueur l du pendule et le champ gravitationnel g dans lequel le pendule se trouve :

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



Attention cependant, cette relation n'est vraie que dans le cas d'oscillations de faibles amplitudes.



Doc. 2 Matériel nécessaire

- Une potence ;
- Une masse (par exemple 50 g) ;
- Un fil ;
- Un chronomètre.

Doc. 3 Champ gravitationnel, champ de pesanteur

Une masse attire à elle toute autre masse située dans son champ d'action : elle crée un champ gravitationnel.

La planète Terre crée par sa masse un champ gravitationnel que nous subissons tous. À sa surface, ce champ est appelé champ de pesanteur terrestre. L'intensité de ce champ peut être déterminée grâce à la relation :

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

Dans la vie courante, nous attribuons aussi un nom spécifique désignant la force d'attraction de la Terre sur un objet situé à sa surface : il s'agit du poids de cet objet. Le poids se calcule selon la relation $P = m \cdot g$.

Données

- $m_{\text{Terre}} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.
- $R_{\text{Terre}} = 6371 \text{ km}$;
moyen

Compétences

- ✓ APP : Identifier les paramètres de travail
- ✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes

1. **Doc. 1** À partir de la relation de Huygens, donner l'expression de l en fonction T et g .
2. **Doc. 1 et 2** Élaborer un protocole permettant de mesurer avec précision la période T des oscillations d'un pendule pour différentes valeurs de sa longueur l .
3. **Doc. 1 et 2** Mettre en œuvre le protocole. Reporter les valeurs de l et T dans un tableau.
4. Tracer le graphique $T^2 = f(l)$ à l'aide d'un tableur ou sur papier millimétré.
5. Déterminer à l'aide du graphique la valeur de g .
6. **Doc. 3** Calculer la valeur théorique de g à la surface de la Terre.
7. Calculer l'écart relatif entre les deux valeurs trouvées de g . Commenter cet écart.



CH 4 : INTERACTIONS, FORCES ET CHAMPS (Chapitre 10 du livre p 173)

(THÈME 2 : MOUVEMENT ET INTERACTIONS)

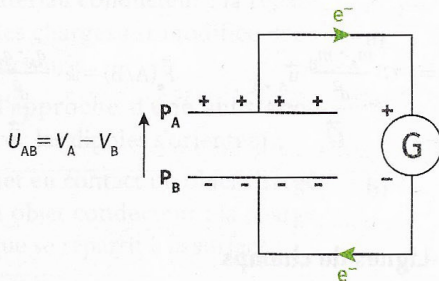
Activité 7 : Champ électrostatique d'un condensateur plan

Un condensateur est un objet capable de stocker de l'énergie grâce aux charges accumulées sur ses armatures.

→ Comment décrire le champ électrostatique créé par le condensateur plan ?

Doc. 1 Le condensateur plan

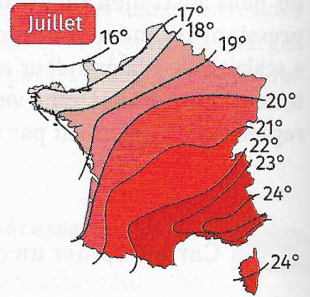
Un condensateur est constitué de deux armatures conductrices, entre lesquelles on applique une différence de potentiel ou tension. Les armatures, portées à deux potentiels différents, vont se charger suite à un déplacement d'électrons.



Doc. 2 Du potentiel au champ

La tension électrique U_{CB} entre deux points C et B est égale à la différence des potentiels électriques V_C et V_B de ces deux points, $U_{CB} = V_C - V_B$. Dans le montage du **doc.4**, une plaque est reliée à la masse du générateur donc $V_B = 0$ V. La sonde mesure directement V_C . En reliant les points de même potentiel V_C , on trace les lignes équipotentielle.

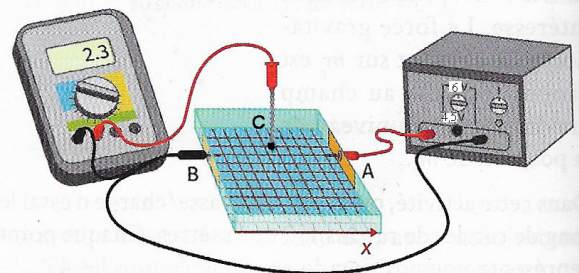
Ces équipotentielles sont perpendiculaires aux lignes de champ. Les lignes équipotentielles sont comparables aux lignes isothermes ou aux lignes isobares sur une carte météo par exemple.



Doc. 3 Matériel nécessaire

- Deux plaques de cuivre et deux pinces crocodiles ;
- Un voltmètre ;
- Trois fils électriques et une sonde ;
- Un générateur de tension continue de 4,5 V ;
- Une solution aqueuse de sulfate de cuivre (II) CuSO_4 (0,01 à 0,1 mol·L⁻¹) ;
- Une cuve rectangulaire disposant d'un quadrillage.

Doc. 4 Modélisation d'un condensateur plan



Compétences

- ✓ APP : Extraire l'information utile
- ✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

1. **Doc. 4** Placer la sonde à différents endroits des deux plaques. Commenter les mesures.
2. **Doc. 2 et 4** Élaborer un protocole permettant de cartographier les potentiels V_C .
3. Mettre en œuvre le protocole de manière à cartographier les équipotentielles égales à 0,5 V, 1 V, 1,5 V, ..., 4 V et 4,5 V.
4. **Doc. 2** Tracer les équipotentielles sur un schéma puis en déduire les lignes de champ.
5. On peut calculer l'intensité du champ électrique E à partir de la tension électrique U_{CB} à l'aide de la relation : $E = \frac{U_{CB}}{x}$ où x est la distance à la plaque B. Calculer E à différents endroits.
6. Représenter les vecteurs $\vec{E}$ à différents points entre les plaques. Que constate-t-on ?

Synthèse de l'activité

Le vecteur champ électrostatique créé entre les deux plaques est-il uniforme ?
Quel est l'intérêt de cartographier un champ ?