

Nom:..... Prénom:..... Classe:..... Date:

Cartographier un champ

✔ Objectifs	👤 Classe
<input type="checkbox"/> Force électrostatique et champ électrostatique. <input type="checkbox"/> Utiliser les expressions vectorielles de la force électrostatique et du champ électrostatique. électrostatique. <input type="checkbox"/> Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation. <input type="checkbox"/> Illustrer l'interaction électrostatique. Cartographier un champ électrostatique.	1 ^{ère} Spé
	🕒 Durée
	2 h

✂ Sur la paillasse

- Générateur de tension 12 V,
- 2 fils de connexion rouge, 2 noirs,
- Un multimètre,
- Deux lames de cuivre,
- Deux pinces crocodiles,
- Une pointe de touche rouge,
- Récipient transparent (bain marie),
- Deux pinces de maintien,
- 100 mL de solution aqueuse de sulfate de cuivre à $1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,
- Feuille de papier millimétré.

1 Rappel: champ scalaire et vectoriel

Au début du XIX^{ème} siècle, 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.

📄 Document 1: Champ scalaire et vectoriel

En physique, un champ est une modification des propriétés de l'espace. Il est caractérisé par une grandeur physique mesurable (température, vitesse du vent, magnétisme, pesanteur...) :

- Le champ est **scalaire** si la grandeur caractéristique est définie par une valeur numérique.
- Le champ est **vectoriel** si la grandeur caractéristique est un vecteur ayant une direction, un sens et une valeur précise.
- Le champ est **uniforme** si sa valeur reste constante.

Données:

- Constante de Coulomb: $k = 9,00 \times 10^9 \text{ N}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{C}^{-2}$
- Constante de gravitation universelle: $\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-2}$
- Intensité du champ de pesanteur au niveau de l'océan: $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Masse de la Terre: $M_T = 5,94 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Masse de la Lune: $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$
- Rayon de la Terre: $R_T = 6378 \text{ km}$
- Charge élémentaire: $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$

1. Pour chacun des documents suivants, dire si le champ est scalaire ou vectoriel et dire si il est uniforme ou non dans le tableau ci-dessous en entourant la bonne réponse.

Le champ de température scalaire	Le champ de vitesse du vent vectoriel	Le champ de pression à une même profondeur scalaire
non uniforme	non uniforme	uniforme

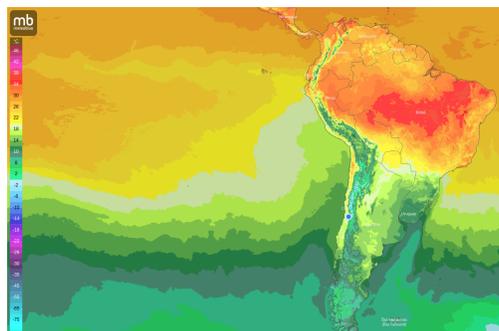


Figure 1: Températures en Amérique du Sud

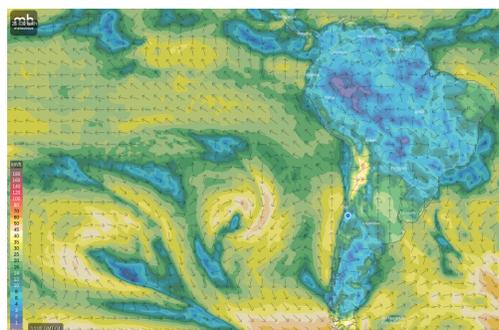


Figure 2: Vents en Amérique du Sud

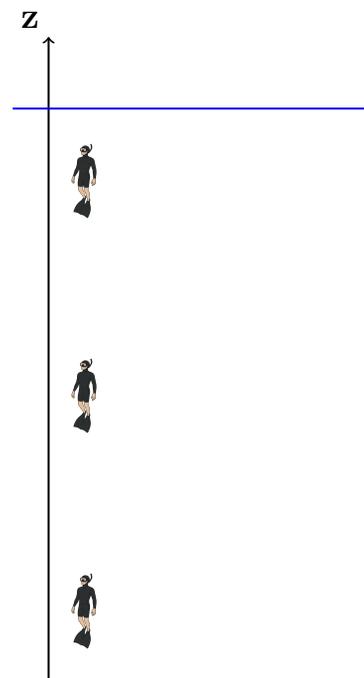


Figure 3: Apnéiste en plongée

2 Champ électrostatique d'un condensateur plan

Document 2

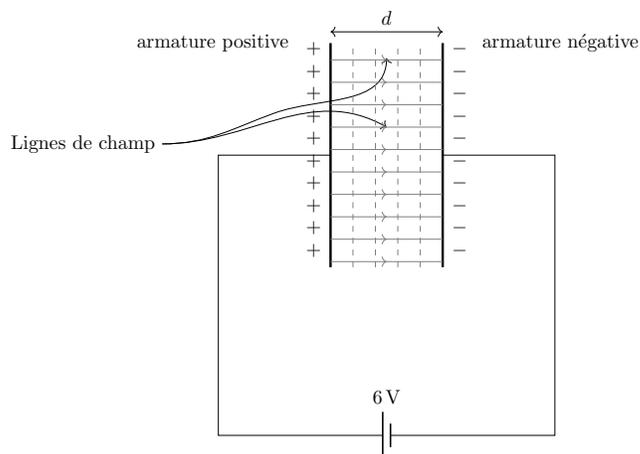
Un **condensateur plan** est constitué de deux armatures portant une charge électrique opposée et séparées d'une distance d .

La présence d'une particule chargée crée un champ électrostatique vectoriel, noté \vec{E} . Si une autre charge, de valeur q , se trouve dans ce champ, elle subira l'action de la force électrostatique \vec{F}_e exercée à distance par la particule telle que $\vec{F}_e = q\vec{E}$. Le vecteur \vec{E} est toujours orienté du + vers le -.

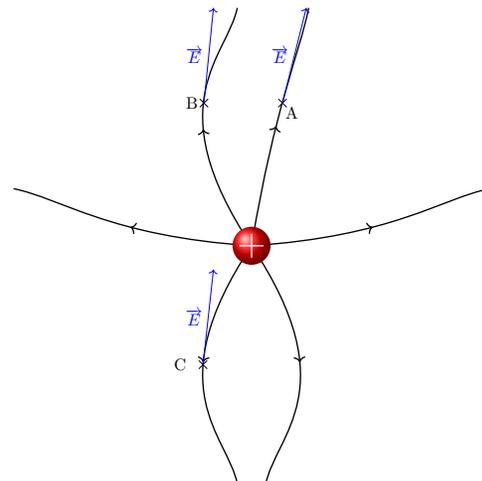
Les **lignes de champs** sont des courbes permettant de représenter les champs vectoriels. Elles sont en tout point **tangentes aux vecteurs du champ** et orientées dans le **même sens** que celui-ci.

Les **lignes équipotentielles** sont des lignes reliant les points ayant le même champ. Elles sont constamment **perpendiculaires aux lignes de champ**.

Le champ électrique, noté \vec{E} régnant entre les armatures se calcule par la relation $\|\vec{E}\| = \frac{U}{d}$ avec la tension U (en V) et d (en m).



- Orienter le champ électrique du document 2 en plaçant une flèche sur les lignes de champ. Ajouter en pointillés les lignes équipotentielles.
- Dans le schéma ci-contre, tracer le vecteur champ électrique \vec{E} aux points A, B et C, sans considération d'échelle, après avoir orienté les lignes de champ.



3 Cartographie d'un champ électrostatique

Document 3: Montage expérimental

Le montage schématisé ci-dessous permet de mesurer, grâce à un voltmètre, la tension U en un point de la solution électrolytique (solution aqueuse de sulfate de cuivre) situé à une distance d de l'électrode négative.

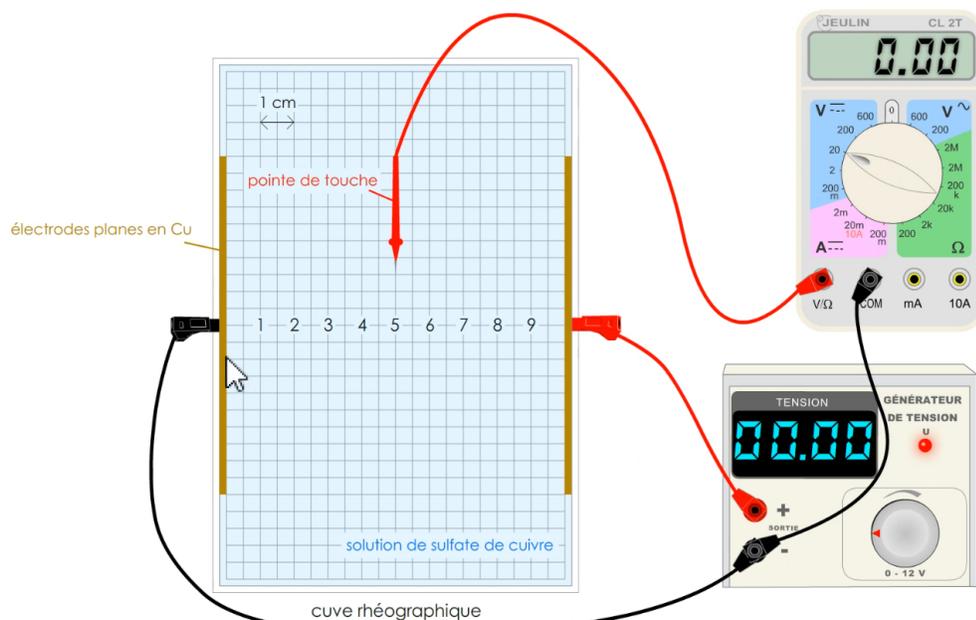


Figure 4: D'après PCCL¹

<https://www.pccl.fr>

- À l'aide de ce matériel, proposer un protocole pour vérifier la relation du champ E (aide : Indiquer les mesures à effectuer, puis la nature du graphique à tracer).

Solution: Comme $U = E \times d$, alors U doit être proportionnel à d et le coefficient de proportionnalité est le champ électrique E .

- Mesurer, pour différentes distances d entre la pointe de touche et l'électrode connectée au "-", la tension U .
- Tracer $U = f(d)$.
- Modéliser la courbe par une fonction linéaire.
- Le coefficient directeur de la droite sera alors le champ E :

5. Réaliser le montage afin de charger le condensateur sous une tension de 6V.

Appel 1

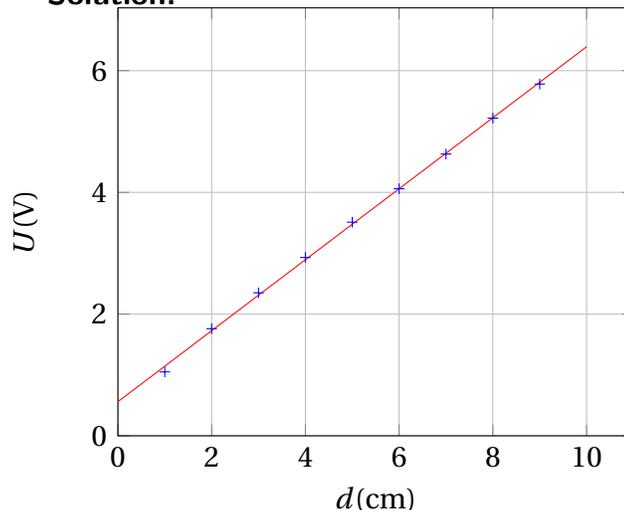
Faire vérifier votre protocole et le montage par le professeur.

6. Effectuer les mesures nécessaires afin de compléter le tableau ci-dessous.

Distance d (en cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tension U (en V)	0	1,05	1,76	2,35	2,93	3,51	4,06	4,63	5,22	5,78

7. Déterminer la valeur du champ électrique. Utiliser *Régressi* pour tracer la courbe.

Solution:



Le coefficient directeur de la fonction $U = f(d)$ est le champ électrique E puisque $U = E \times d$ donc on trouve un coefficient directeur $E = 0,58 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1} = 58 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$

8. Le champ électrique est-il uniforme ?

Solution: Le champ électrique est uniforme puisque la norme de \vec{E} est constante (on obtient bien une fonction linéaire). Les lignes de champ sont donc parallèles.

9. Dans la solution il y a des ions Cu^{2+} . Quelle force subirait un ion Cu^{2+} qui serait entre les deux plaques ? (Donnée : charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$). Vers quelle plaque va-t-il se diriger ?

Solution: La force que subirait un ion Cu^{2+} serait:

$$\begin{aligned} \|\vec{F}\| &= q(\text{Cu}^{2+}) \|\vec{E}\| \\ &= 2e \|\vec{E}\| \\ &= 2 \times 1,60 \times 10^{-19} \text{ C} \times 58 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \end{aligned}$$

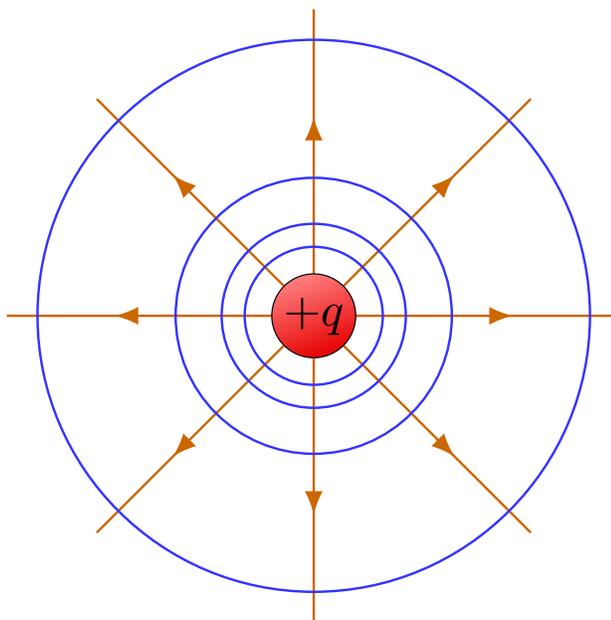
$$\|\vec{F}\| = 1,9 \times 10^{-17} \text{ N}$$

10. Ouvrir le programme python suivant sur *capitale*. Ce programme informatique permet de représenter le champ électrostatique créé par deux charges q .



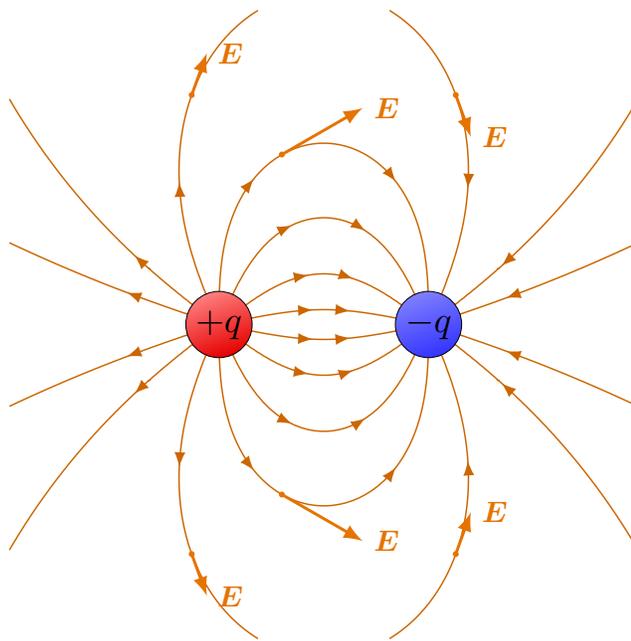
- (a) Modifier le programme afin de compléter les lignes 14 et 15 du programme. Vérifier qu'il s'exécute correctement.
- (b) Modifier le programme afin de ne placer qu'une seule particule de charge positive.
- (c) Comment sont orientées les lignes de champ ? Zoomer si besoin. Les représenter ci-dessous. Représenter également les lignes équipotentielles.

Solution:



- (d) Replacer deux particules dans le champ. Représenter le champ électrique créé ci-dessous.

Solution:



(e) Où le champ électrique est-il le plus intense ? Pourquoi ?

Solution: Le champ électrique est le plus intense à proximité des particules chargées puisque le champ électrique est inversement proportionnel à la distance à la charge au carré.

(f) À l'aide de cette carte de champ, caractériser la direction et le sens de la force électrostatique que subirait une particule de charge électrique positive, placée en $M(0\text{m};0\text{m})$.

Solution: La particule subirait une force $\vec{F} = q\vec{E}$. Or comme la particule est de charge positive, et que le champ est horizontal orienté vers la gauche, alors la particule subirait une force horizontale vers la gauche.

(g) Placer maintenant deux charges positives au lieu d'une positive et d'une négative. caractériser la direction et le sens de la force électrostatique que subirait une particule de charge électrique positive, placée en $M(0\text{m};-0,50\text{m})$.

Solution: La particule subirait une force $\vec{F} = q\vec{E}$. Or comme la particule est de charge positive, et que le champ est vertical orienté vers le bas, alors la particule subirait une force verticale vers le bas.

4 Champ de pesanteur

11. Se rendre sur le site web suivant. Supprimer le deuxième objet (l'espèce de "comète") en cliquant dessus et en utilisant la touche "supr".



(a) De quelles couleurs sont représentées les lignes de champ ? Les équipotentiels ?

Solution: Les lignes de champ sont en bleu.
Les lignes équipotentielles sont en vert.

(b) Décrire les lignes de champ autour de la Terre.

Solution: Les lignes de champ sont **radiales**, orientée vers la Terre (droites passant par le centre de l'objet).

12. Quelle(s) différence(s) y a-t-il entre les champs \vec{G} et \vec{g} ?

Solution: Le champ de pesanteur \vec{g} est un champ vectoriel permettant de modéliser la force subie par un objet de masse non nulle au **voisinage de la Terre**, soit son poids \vec{P} . Le champ de gravitation \vec{G} s'applique à tout point, peu importe sa distance à la Terre.

13. Calculer la valeur du champ de pesanteur pour l'altitude $h = 8849\text{m}$, soit au sommet du mont Everest. On rappelle que le rayon de la Terre est $R_T = 6378\text{km}$. Expliquer qu'on puisse qualifier le champ de pesanteur à la surface de la Terre comme localement uniforme.

Solution:

$$\begin{aligned} \|\vec{G}\| &= \mathcal{G} \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \\ &= \mathcal{G} \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \\ &= 6,67 \times 10^{-11} \text{N}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \text{kg}}{(6378 \times 10^3 \text{m} + 8849 \text{m})^2} \\ \|\vec{G}\| &= 9,76 \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

Cette valeur est très proche de celle au niveau de l'océan ($g = 9,81 \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) donc on considère que le champ de pesanteur est uniforme à la surface de la Terre.

14. Déterminer le rayon lunaire sachant que le champ de pesanteur à sa surface est 6 fois plus faible que sur Terre. Donnée: Masse de la Lune $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{kg}$.

Solution:

$$\begin{aligned}\|\vec{G}_L\| &= \mathcal{G} \frac{M_L}{R_L^2} \iff R_L = \sqrt{\mathcal{G} \frac{M_L}{\|\vec{G}_L\|}} \\ &= \sqrt{\mathcal{G} \frac{M_L}{\|\vec{G}_T\|/6}} \\ &= \sqrt{6,67 \times 10^{-11} \text{ N}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{7,35 \times 10^{22} \text{ kg}}{9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}/6}} \\ &= 1,73 \times 10^6 \text{ m} \\ &\boxed{R_L = 1730 \text{ km}}\end{aligned}$$

Le rayon de la Lune est de 1730 km.