

Activité : le champ électrique

Doc 1 – Cartographier l'espace



L'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) est un établissement public national placé sous la double tutelle du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et du ministère de l'agriculture, de l'agro-alimentaire et de la forêt. Il a pour vocation de décrire la surface du territoire national et l'occupation de son sol, et d'élaborer et de mettre à jour l'inventaire permanent des ressources forestières nationales.

Doc 2 – Distribution de charges et charge invitée

Considérons un ensemble de plusieurs charges électriques Q_i (distribution de charges), qu'on suppose fixes pour simplifier. Imaginons qu'une autre charge électrique q (charge « invitée ») arrive alors. Pour calculer la force électrostatique à laquelle q sera soumise, il faut faire la somme des forces exercées par chacune des charges fixes Q_i sur cette charge.

Si une autre charge invitée q' , différente de q , se présente, il faut refaire tous les calculs...

Pour éviter cet écueil, les physiciens modélisent la présence de toutes les charges fixes par un champ vectoriel, le champ électrique, noté $\vec{E}$

En chaque point de l'espace, ce vecteur représente l'effet possible de toutes les charges fixes Q_i sur une charge invitée q qui se présenterait.

La charge invitée est alors soumise à une **force électrique** :

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

$\vec{F}$	: Force électrique à laquelle est soumise la charge invitée ;	N
q	: Valeur de la charge invitée ;	C
$\vec{E}$	: Champ électrique créé par la distribution de charges Q_i .	$V.m^{-1}$

Doc 2 – Distribution de charges et charge invitée

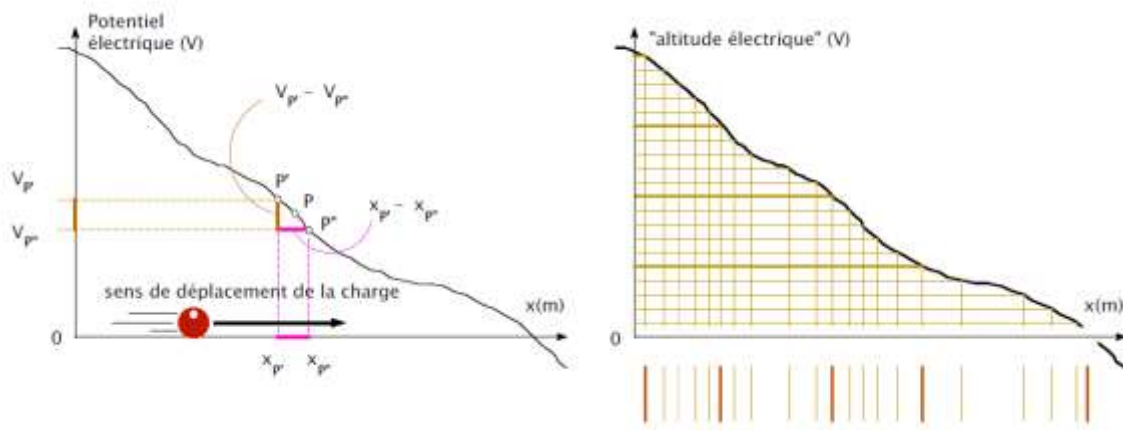
- En électricité, un voltmètre mesure la tension électrique (en volts) entre deux points d'un circuit. Cette « tension » représente la différence « d'état » électrique entre deux points du circuit. Cet état électrique, nommé potentiel électrique, noté V , s'exprime aussi en volts (V).

- Le potentiel électrique en un point de l'espace modélise « l'altitude électrique » de ce point. On peut ainsi déterminer le champ de potentiel dans l'espace. Par analogie avec les géographes, les physiciens représentent la topographie du champ de potentiel à l'aide de « courbes de niveau » nommées lignes équipotentielles. Ces lignes sont les lieux des points de l'espace situés tous à la même « altitude électrique » (au même potentiel électrique). En réalité, il s'agit plutôt de surfaces équipotentielles puisque le champ de potentiel s'inscrit dans l'espace. Le voltmètre qui affiche une différence de potentiels électriques mesure en fait un « dénivelé électrique ».

- Lorsqu'on place une charge électrique positive dans un champ de potentiel, celle-ci acquiert « l'altitude électrique » du point de l'espace où on la dispose. Si ce point est situé sur une pente, la charge, telle une pierre, va se mettre en mouvement et dégringoler selon la ligne de plus grande pente, en descendant les potentiels...

- Pour rendre compte de la pente sur laquelle la charge va se mouvoir, les physiciens définissent la valeur du champ électrique au point P comme la variation du potentiel électrique entre deux points P' et P'' encadrant P :

$$E_{(P)} = \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{V_{P'} - V_{P''}}{x_{P''} - x_{P'}}$$



On retrouve le fait que plus les lignes équipotentielles sont serrées, plus la variation « d'altitude électrique » est importante et plus la valeur du champ électrique E est élevée.

- Le champ électrique est un vecteur noté $\vec{E}$ et orienté du plus haut potentiel vers le plus bas potentiel. Si on considère l'axe reliant les deux points P' et P'' comme l'axe des abscisses, orienté de P' vers P'' par le vecteur unitaire $\vec{i}$ alors on peut écrire :

$$\vec{E} = - \frac{V_{P''} - V_{P'}}{x_{P''} - x_{P'}} \vec{i}$$

L'unité du champ électrique est par conséquent le volt par mètre ($V.m^{-1}$). Une tension électrique de 1 V entre deux points espacés de 1 m crée donc un champ électrique de $1 V.m^{-1}$. Par exemple, entre les bornes distantes de 3 cm d'une prise de courant de 230 V règne un champ électrique valant près de $8000 V.m^{-1}$.

On appelle « lignes de champ » des courbes qui sont tangentes en tout point au vecteur champ électrique.

A - Questions sur le document 1

1 . Comment nomme-t-on les lignes oranges tracées sur la carte ? Qu'indiquent les nombres visibles sur certaines d'entre elles ?

- La **figure 1** en annexe représente la partie du Mont Blanc appartenant à la commune de Saint-Gervais-les-Bains.

- Tracer le profil de la pente le long de la droite AB.
- Comparer les pentes entre les points C et D et entre les points E et F.
- Que peut-on dire du sommet du Mont Blanc ?

- Les courbes en pointillés visibles sur la **figure 2** en annexe représentent quelques lignes de plus grande pente issues du sommet du Mont Blanc.

5 . Tracer sur le document les lignes de plus grande pente passant par les points P et P'. Que constate-t-on ?

B - Questions sur le document 2 et sur une simulation.

- On considère la distribution de charges la plus simple qui soit : une seule charge Q , placée au point A. On place une charge invitée q , au point B, à une distance d du point A.

1 . Donner l'expression vectorielle de la force électrique exercée par Q sur q.

Pour cela, on utilisera le vecteur unitaire : $\vec{u} = \frac{\vec{AB}}{AB}$

2 . En déduire l'expression du vecteur champ électrique créé par la charge Q au point B.

- Pour modéliser différentes distributions de charge, on utilise une simulation disponible à l'URL suivante : <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/chargegene.html>

Si l'on presse un bouton de la souris dans le cadre du dessin, et si l'on glisse la souris, on affiche avec des unités arbitraires les valeurs du champ et du potentiel au niveau du pointeur ainsi que le vecteur champ électrique.

3. Par quoi sont représentées sur la figure :

- les lignes équipotentielles ?
- les lignes de champ électriques ?

4. Afficher quelques vecteurs champ électrique en différents points. Comment varie la valeur du champ électrique quand on s'éloigne de la charge ?

5. Comment est orienté le vecteur champ électrique par rapport aux lignes équipotentielles ?

6. Effacer la figure puis ajouter une charge négative. Qu'est-ce qui est modifié par rapport à la situation précédente ?

- La **figure 3** en annexe représente une charge Q et différents points P_i de l'espace situés autour de Q. Pour simplifier, on place l'ensemble de ces points dans un même plan.

6. Tracer sur la figure 3 le vecteur champ électrique créé par la charge $Q > 0$ puis par la charge $Q < 0$ en chacun de ces points.

Par convention, on représentera le champ électrique au point P_0 par une flèche de 1 centimètre de long.

7. On dit que le champ électrique autour d'une charge ponctuelle positive est radial centrifuge. Que veut-on dire par là ?

8. Qu'est-ce qui est changé si la charge Q est négative ?

- La **figure 4** en annexe représente une distribution de deux charges Q_1 et Q_2 ainsi que différents points P_i de l'espace situés autour des deux charges.

9 . En utilisant la même convention qu'à la question précédente et en utilisant la simulation, Tracer sur la figure 4 le vecteur champ électrique créé par les deux charges en chacun de ces points.

C – Questions sur le document 3

- La **figure 5** en annexe représente une distribution de deux charges $-Q$ et $+Q$. L'équipotentielle qui sert de référence est représentée en vert. Les équipotentielles négatives sont en jaune et les positives sont en bleu. Les lignes de champ sont en rouge.

1 . Quelle différence de potentielle sépare deux équipotentielles ?

2 . Tracer l'allure du potentiel électrique le long d'un axe (x'x) passant par les centres des deux charges.

3 . En faisant divers relevés sur le schéma, donner les caractéristiques des lignes équipotentielles et du vecteur champ électrique.

La **figure 6** en annexe représente une distribution de deux charges $-Q$ et $+2Q$. Autour de ces deux charges, on a représenté en rouge des charges invitées positives $+q$ et en bleu des charges invitées négatives $-q$.

4 . Calculer et représenter sur le schéma la force électrique à laquelle est soumise chaque charge.

5. Quel est l'avantage d'utiliser le champ électrique lorsqu'il s'agit de représenter des forces électriques ?

Activité expérimentale : étude d'un condensateur plan

Un **condensateur** est un dipôle électrique élémentaire, constitué de deux armatures conductrices (appelées « électrodes ») en influence totale et séparées par un isolant nommé diélectrique. Sa propriété principale est de pouvoir stocker des charges électriques opposées sur ses armatures. La valeur absolue de ces charges est proportionnelle à la valeur absolue de la tension qui lui est appliquée. Lorsque les armatures sont planes et placées parallèlement l'une par rapport à l'autre, on parle de condensateur plan.

1 . Protocole expérimental

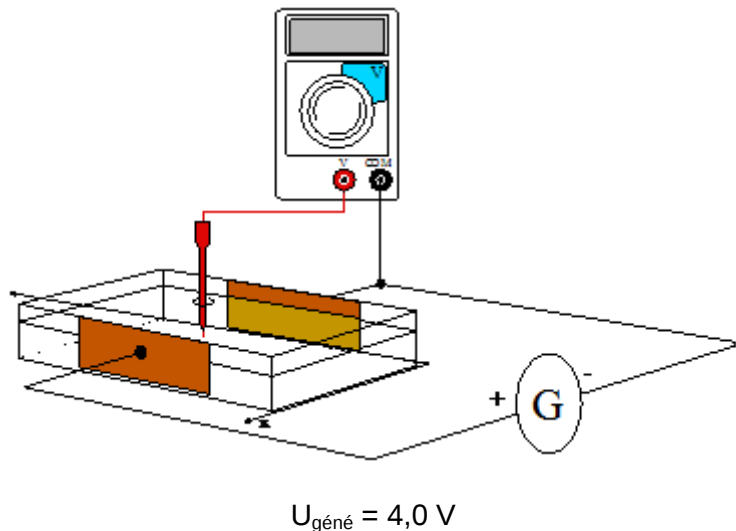
- Remplir au tiers la cuve rhéographique avec la solution conductrice de sulfate de cuivre II.

- Réaliser le montage ci-contre :

- En tenant la sonde de mesure du voltmètre bien verticale, la déplacer le long de la plaque reliée au pôle + du générateur puis à celle reliée au pôle - .

- Eloigner la sonde de la plaque et relever l'ensemble des points du fond de la cuve où la tension mesurée vaut 1,0 V.

- Même manipulation pour
 $U = 1,5 \text{ V}$, $U = 2,0 \text{ V}$,
 $U = 2,5 \text{ V}$, $U = 3,0 \text{ V}$
et $U = 3,5 \text{ V}$



2 . Questions

- Tracer en bleu sur un schéma à l'échelle de la cuve les lignes équipotentielles. Que constate-t-on ?
- Représenter en rouge sur le même schéma l'allure des lignes de champ entre les deux plaques métalliques. Que constate-t-on ?
- Sachant que les lignes de champ sont orientées des potentiels électriques élevés vers les potentiels plus faibles, orienter ces lignes de champ.
- Déduire de l'allure des lignes de champ la direction et le sens du vecteur $\mathbf{E}$ représentant le champ électrostatique entre les deux plaques.
- Tracer à l'aide d'un tableur le graphique représentant le potentiel électrique en fonction de x .
- Calculer la valeur du champ électrique en différents points. Que constate-t-on ?