

Fiche professeur

THEME du programme : Comprendre

Sous-thème : Champs et forces

Les charges électriques créent-elles un champ ?

Type d'activité : Activités documentaire et expérimentale

Conditions de mise en œuvre :

• Activité documentaire :

Recherche documentaire réalisée par les élèves chez eux (sur la foudre ou les lignes à haute tension) et résultats mis en commun en classe entière. Durée : 30 min

• Activité expérimentale en deux temps :

- mise en évidence de l'existence d'un champ électrostatique par une approche expérimentale encadrée (utilisation d'une cuve rhéographique).

- mise en évidence de l'existence d'une force électrostatique dans une région de l'espace où règne un champ électrostatique par un protocole proposé par les élèves (migration d'ions).

Les élèves terminent l'activité expérimentale par une formalisation des connaissances acquises pendant la séance et font une analogie entre le modèle du champ électrostatique et celui du champ de pesanteur.

Durée : 2h00 ou 1h30 si l'exploitation des résultats est poursuivie à la maison

Pré-requis : - Champ de pesanteur

- Tension électrique

NOTIONS ET CONTENUS	COMPETENCES ATTENDUES
Champ électrostatique	<p>Recueillir et exploiter des informations sur un phénomène pour avoir une première approche du champ électrostatique</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale pour cartographier un champ électrostatique</p> <p>Connaître les caractéristiques du champ électrostatique dans un condensateur plan</p>

Compétences transversales :

- Rechercher des informations utiles et les exploiter
- Analyser, raisonner et argumenter
- Proposer un protocole et le réaliser

Mots clés de recherche : potentiel électrostatique et équipotentielle, champ électrostatique, force électrostatique

Provenance : Académie d'Orléans-Tours

Adresse du site académique : <http://physique.ac-orleans-tours.fr/php5/site/>

LES CHARGES ELECTRIQUES CREENT ELLES UN CHAMP ?

I. OBJECTIF

La Terre crée un champ de pesanteur. Tous les corps situés au voisinage du sol terrestre sont soumis à l'action de ce champ. Peut-on alors imaginer que d'autres champs existent ?

Dans une première partie, nous allons étudier quelques phénomènes électriques et nous interroger sur l'existence d'un champ électrique lié à ces phénomènes.

Dans une seconde partie, nous chercherons à mettre en évidence expérimentalement le champ électrostatique et à transposer le modèle du champ de pesanteur au champ électrostatique.

II. PREMIERE PARTIE : ACTIVITE RECHERCHE DOCUMENTAIRE

A l'aide de recherches sur Internet, de revues ou livres, vous répondrez aux questions qui suivent (la foudre **ou** les lignes à haute tension) et préciserez la source de vos informations.

Une mise en commun des informations recueillies par les deux groupes sera faite en classe.

Groupe 1 : La foudre

- Comment se forme la foudre ?
- Un champ électrique est-il lié à ce phénomène et si oui, à quoi est due sa présence ?
- Pourquoi la foudre tombe-t-elle sur les paratonnerres ?
- Qui est l'inventeur du paratonnerre ? Quelle expérience célèbre a-t-il réalisé pour mettre en évidence le caractère électrique de la foudre ?
- Avez-vous trouvé d'autres informations qui vous ont paru intéressantes sur ce sujet et si oui lesquelles ?



photo site www.educol.net

Groupe 2 : Les lignes à haute tension

- Les lignes à haute tension génèrent-elles un champ électrique ? Si oui, donnez quelques valeurs de ces champs électriques .
- Les lignes à haute tension génèrent-elles d'autres types de champs? Précisez.
- Existe-t-il des normes en France et à l'étranger pour l'implantation des maisons sous les lignes à haute tension ?
- Dans un rapport paru en mai 2010 du Sénat sur les effets sur la santé et l'environnement des lignes à haute tension, on trouve l'extrait suivant :
« *Les animaux (situés à proximité des lignes à haute tension) peuvent recevoir des décharges lorsqu'ils rentrent en contact avec des parties métalliques : abreuvoirs, cornadis, mangeoires, barrières, clôtures...* »
Donner une explication à cela.
- A quoi sont dus les crépitements semblables au bruit des abeilles que l'on entend lorsque l'on est sous une ligne à haute tension ?
- Avez vous trouvé d'autres informations qui vous ont paru intéressantes sur ce sujet et si oui lesquelles ?



photo site <http://www.greenisgreat.fr/>

III. DEUXIEME PARTIE : ACTIVITE EXPERIMENTALE

1. A la poursuite des lignes équipotentielles et du champ électrostatique.

Le champ électrique est qualifié de champ électrostatique quand il est créé par des charges immobiles dans le référentiel d'étude considéré.

La **cuve rhéographique** (voir schéma ci-dessous) va nous permettre de déterminer les caractéristiques du champ électrostatique. En effet, elle est constituée de deux électrodes chargées et immobiles dans le référentiel du laboratoire.

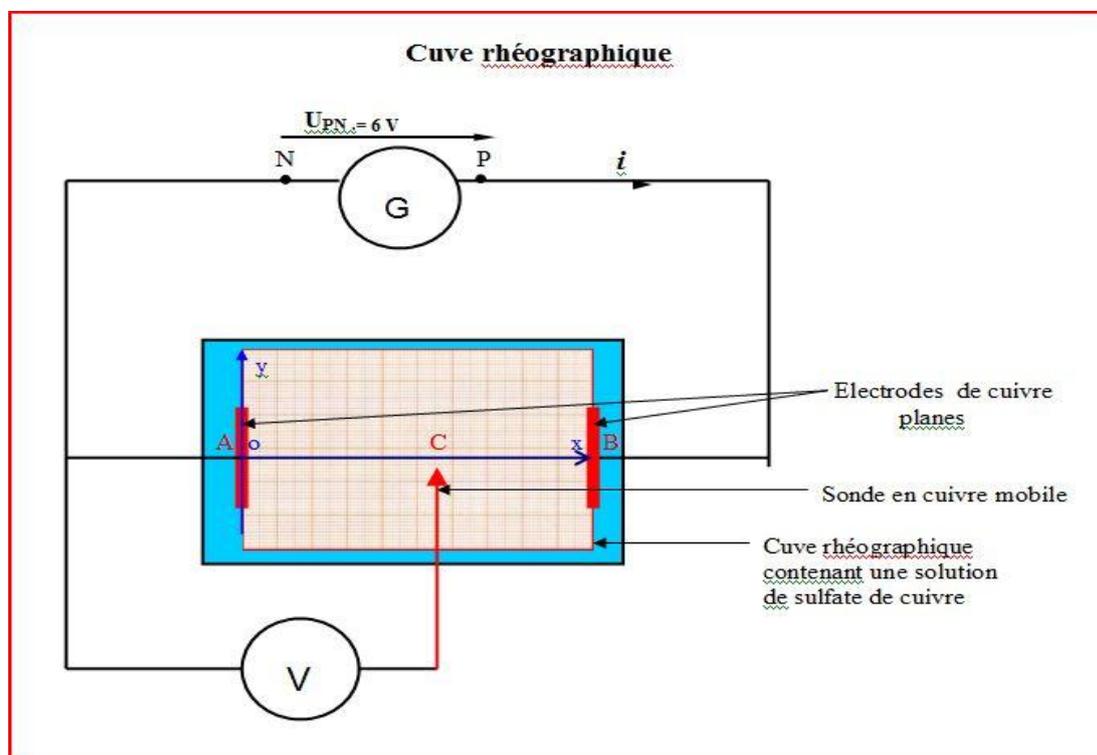
✚ Réaliser le montage ci-dessous :

Remplir au 3/4 la cuve contenant les deux électrodes de cuivre, d'une solution de sulfate de cuivre à $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.

Placer sous la cuve, une feuille de papier millimétré sur laquelle vous aurez tracé au préalable deux axes orthonormés (Ox, Oy) (voir schéma)

Faire les branchements et relier la borne V du voltmètre à la sonde en cuivre.

Appeler le professeur pour vérifier le montage



A lire attentivement pour répondre aux questions suivantes

Un point d'un circuit est caractérisé par son état électrique appelé **potentiel V**. Le potentiel s'exprime en Volt. La **tension** est la mesure de la **différence de potentiel** qui existe entre deux points d'un circuit.

Par exemple, le potentiel en P s'écrit V_P . Il est différent du potentiel en N, V_N . En effet, si on mesure la tension $U_{PN} = V_P - V_N$, on trouve $U_{PN} \neq 0$ d'où $V_P \neq V_N$.

Deux points reliés par un simple fil possèdent sensiblement le même potentiel car un fil perturbe peu l'état électrique du circuit.

On ne peut pas mesurer un potentiel (on ne peut mesurer que des différences de potentiel ou tensions). Par convention, on pose que le potentiel à la borne négatif du générateur est nul soit $V_N = 0V$, ce qui permet de déterminer la valeur des autres potentiels.

- 1.1. Quelles relations ya-t-il entre les potentiels V_A , V_B , V_P et V_N ?
- 1.2. Déterminer la valeur du potentiel V_A de l'électrode A et la valeur du potentiel V_B de l'électrode B.
- 1.3. Quelle électrode (A ou B) est chargée positivement ? négativement ?
- 1.4. Quelle tension mesure le voltmètre ?
- 1.5. En théorie, quand le point C de la sonde est en A, que vaut V_C (potentiel en C).
Même question quand le point C de la sonde est en B.

✎ Vérifier les réponses du 1.5. en réalisant la manipulation.

✎ Déplacer la sonde sur toute la surface de l'électrode A, puis sur toute la surface de l'électrode B.

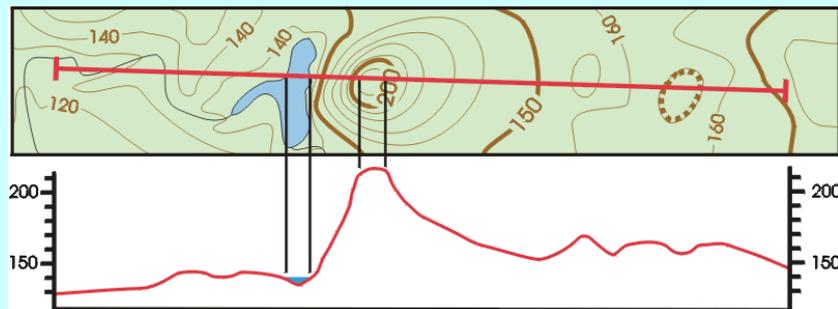
1.6. Qu'observez-vous ?

✎ Déplacer maintenant la sonde tenue verticalement, de la plaque A vers la plaque B selon l'axe (Ox).

1.7. Que constatez-vous ?

1.8. Comment faut-il déplacer la sonde afin d'avoir toujours le même potentiel en C ?

Les lignes (ou surfaces) **équipotentiels** sont des lignes (ou des surfaces) sur lesquelles la valeur du potentiel électrique est la même. Les lignes équipotentiels sont semblables aux courbes de niveau d'une carte topographique. Tous les points situés sur une courbe de niveau sont à la même altitude. Par convention, l'altitude au niveau de la mer est considérée comme nulle.



Exemple de courbes de niveau et correspondance avec vue de coupe du relief
(Site de l'université du Québec à Montréal : <http://www.er.uqam.ca/>)

✎ Sur une feuille de papier millimétré :

- tracer les deux électrodes A et B en respectant la distance qui les sépare.

- tracer les deux axes (Ox , Oy)

- reporter les points ayant le même potentiel et relier ces points afin de visualiser les équipotentiels. On se limitera aux points ayant pour potentiel $V_C = 1,0 \text{ V}$; $2,0 \text{ V}$; $3,0 \text{ V}$; $4,0 \text{ V}$ et $5,0 \text{ V}$

1.9. Comment sont placées les équipotentiels ?

1.10. Sont-elles à une ou deux dimensions ?

1.11. Par analogie avec le champ de pesanteur et les courbes de niveau d'une carte topographique, en déduire la direction et le sens du vecteur champ électrostatique noté \vec{E} . Représenter quelques vecteurs \vec{E} sur la feuille de papier millimétré sans souci d'échelle.

✎ Sur un tableur grapheur, tracer et modéliser le graphe V_C en fonction de l'abscisse x .

1.12. Donner l'équation modélisée de la courbe obtenue, c'est-à-dire en considérant que la courbe passe nécessairement par l'origine du repère puisque pour $x = 0$ alors $V_C = 0$. Que peut-on alors dire de V_C et x ?

1.13. Sachant que la valeur du champ électrostatique \vec{E} s'exprime en $V.m^{-1}$, comment la déterminer à l'aide des résultats précédents ?

1.14. En déduire l'expression littérale qui lie V_C (ou U_{CA}) à la valeur de \vec{E} et à la distance x .

1.15. Pourquoi peut-on dire que le champ électrostatique est uniforme selon l'axe (Ox) ? Peut-on dire qu'il est uniforme en tout point de la cuve ?

✎ Placer maintenant une tige de cuivre reliée à l'électrode A et dirigée selon l'axe (Ox). Chercher l'équipotentielle 1V et la représenter d'une autre couleur sur la feuille de papier millimétré.

1.16. Que remarque-t-on ?

Comparer, pour l'équipotentielle 1V, la distance x avec et sans tige de cuivre.

Que peut-on en déduire sur la valeur du champ électrique en présence de la tige ?

Montrer que la tige de cuivre permet de comprendre le fonctionnement du paratonnerre.

2. Que la force soit avec vous !

La force de pesanteur s'exerce sur un corps de masse m placé en un point de l'espace où règne un champ de pesanteur et peut le mettre en mouvement. Par analogie, peut-on envisager qu'il existe une force qui agisse sur des particules chargées placées dans un champ électrostatique ?

Vous disposez :

- du matériel suivant :

un générateur 6/12V, un ampèremètre, une plaque de verre, deux lames de cuivre, des pinces crocodiles, des fils de connexion et des bandes de papier filtre.

- des réactifs suivants :

des cristaux bleus de sulfate de cuivre pentahydraté ($CuSO_4 \cdot 5 H_2O$), des cristaux violets de permanganate de potassium ($KMnO_4$), une bande de papier filtre, une solution aqueuse conductrice de nitrate de potassium.

Aide : la cuve rhéographique utilisée précédemment ne convient plus car la distance séparant les deux électrodes est trop grande pour l'étude réalisée.

✎ Mettre en œuvre un protocole qui permettrait de mettre en évidence l'existence d'une force électrostatique \vec{F} s'exerçant sur des corps chargés et placés dans un champ électrostatique.

Appeler le professeur et réaliser l'expérience avec son accord.

2.1. Quels sont les ions responsables de la couleur bleue du sulfate de cuivre pentahydraté ?

Quels sont les ions responsables de la couleur violette du permanganate de potassium ?

2.2. L'expérience réalisée permet-elle de conclure à l'existence de forces électrostatiques ?

2.3. Selon vous, de quoi dépend la force électrostatique \vec{F} ?

2.4. Pour chaque ion, précisez la direction de cette force et son sens.

2.5. Par analogie avec l'expression littérale de la force qui s'exerce sur un corps de masse m soumis au champ de pesanteur, en déduire l'expression littérale de la valeur de la force électrostatique \vec{F} qui s'exerce sur une charge électrostatique q placée dans un champ électrostatique.

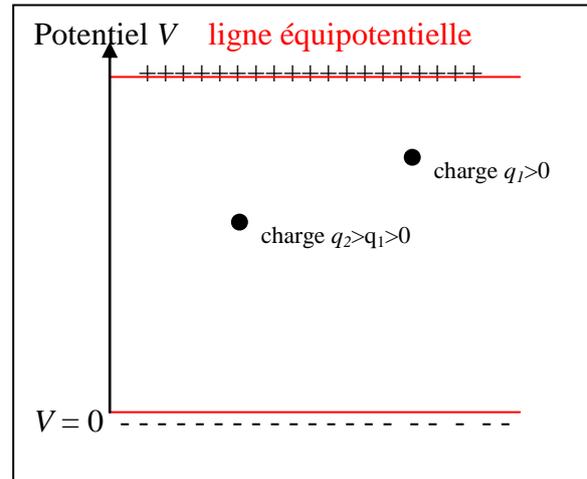
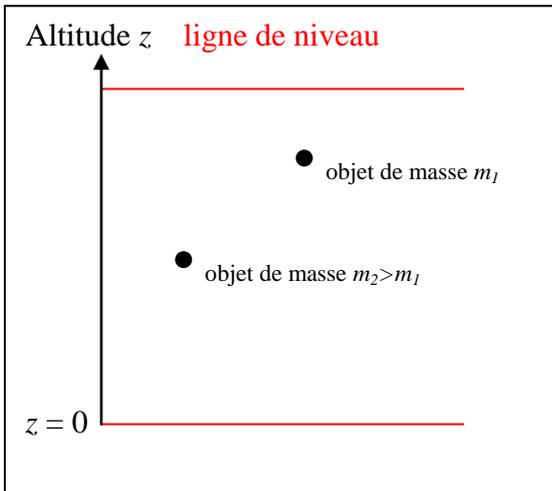
2.6. Calculer la valeur de la force électrostatique qui s'exerce sur l'ion cuivre Cu^{2+} ; même question pour l'ion permanganate MnO_4^- .

Remarque : U_{PN} mis en jeu pour l'expérience est différent de 6V et la distance séparant les deux électrodes a changé : il faut donc recalculer la valeur du champ électrostatique (voir l'expression littérale établie au 1.14)

2.7. Faire un schéma de l'expérience et tracer le vecteur force électrostatique \vec{F} qui s'exerce sur les ions colorés avec l'échelle de votre choix ($1\text{cm} \leftrightarrow ? \text{V.m}^{-1}$)

2.8. Extension possible : chercher des informations sur l'électrophorèse (principe, domaine d'utilisation etc...)

III- ANALOGIES ENTRE DEUX MODELES : LE CHAMP DE PESANTEUR ET LE CHAMP ELECTROSTATIQUE.

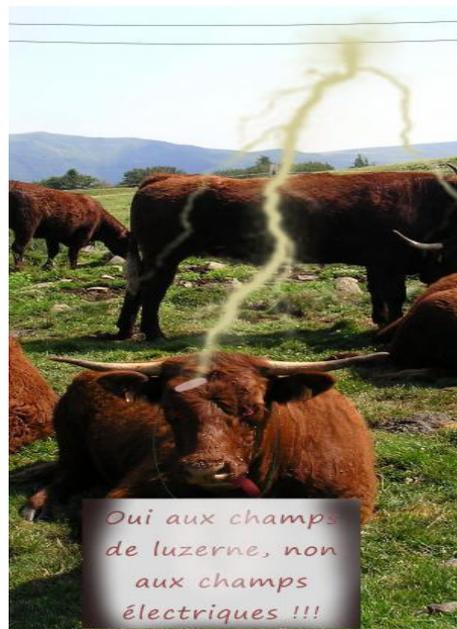


3.1. Quelles analogies y a-t-il entre les deux modèles du champ de pesanteur et du champ électrostatique ?

3.2. Représenter les vecteurs champ électrostatique et champ de pesanteur ainsi que la force électrostatique s'exerçant sur la charge et la force de pesanteur s'exerçant sur l'objet sur les schémas correspondants.

3.3. Quelle autre caractéristique commune des champs a-t-on mise en évidence dans cette activité expérimentale ?

3.4. Quelle est la principale différence entre ces deux modèles ? (*penser au signe de la charge q*)



Document professeur

Première partie - Activité documentaire:

Il s'agit de montrer aux élèves qu'on peut établir un lien entre deux phénomènes différents (l'un d'origine naturelle et l'autre créé par l'homme) : le champ électrostatique.

Cette activité préparatoire à la deuxième partie expérimentale sera réalisée par les élèves chez eux. Ils choisiront un des deux phénomènes.

Chaque sujet traité se termine par une question ouverte où les élèves peuvent s'exprimer sur des points qui les ont intéressés ou interpellés (pouvoir des pointes, effet corona, aspects historiques sur le paratonnerre etc.) et qui peuvent les amener à évoquer d'autres phénomènes où le champ électrostatique intervient (fonctionnement d'une photocopieuse par exemple).

Deuxième partie – activité expérimentale

1. A la poursuite des lignes équipotentielle et du champ électrique

La cuve rhéographique peut être réalisée avec un cristalliseur, deux plaques de cuivre maintenues par des pinces et une feuille de papier millimétré. Il existe aussi des cuves toutes prêtes avec un quadrillage en fond de cuve.

La solution conductrice est une solution aqueuse de sulfate de cuivre à $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. L'eau du robinet peut convenir mais les équipotentielles sont moins régulièrement espacées.

Réponses attendues :

1.1 $V_A = V_N$ et $V_B = V_P$

1.2. $V_N = 0 \text{ V}$ par convention d'où $V_P = 6\text{V}$. En conséquence, $V_A = 0\text{V}$ et $V_B = 6\text{V}$

1.3. A est chargée négativement, B est chargée positivement.

1.4. Le voltmètre mesure U_{CA} (borne V du voltmètre reliée en C)

1.5. $U_{CA} = V_C - V_A = V_C$

Quand C est en A alors $V_C = V_A = 0\text{V}$

Quand C est en B alors $V_C = V_B = 6\text{V}$

1.6. Le potentiel est le même sur toute la surface

1.7. Le potentiel augmente quand on va vers l'électrode B

1.8. Il faut déplacer la sonde sur toute la surface perpendiculaire à l'axe (Ox)

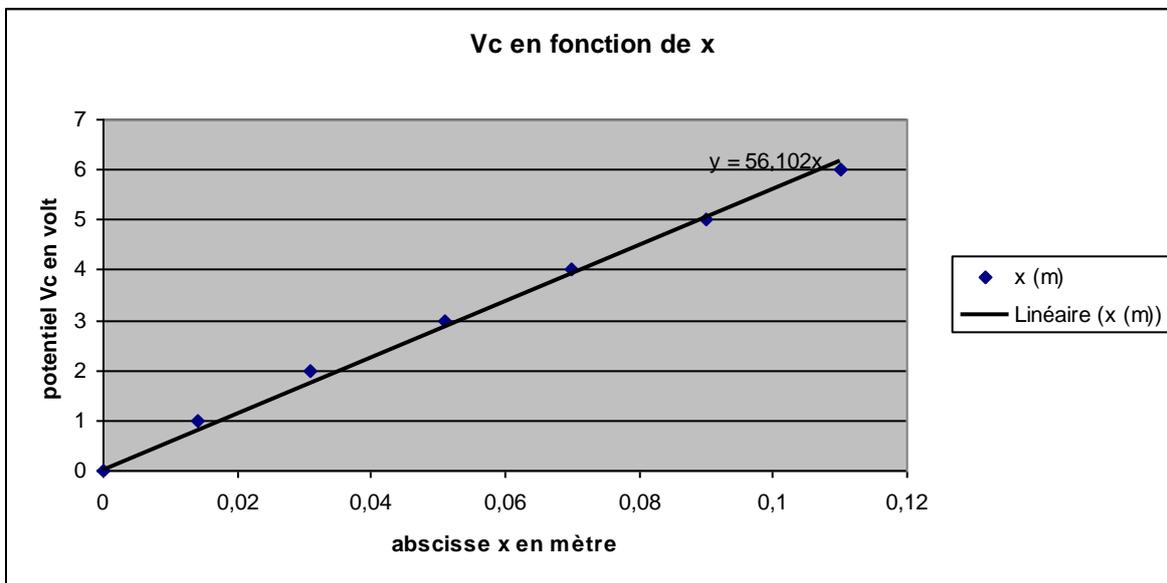
1.9. Les équipotentielles sont parallèles aux électrodes

1.10. Elles sont bidimensionnelles.

1.11. Le champ de pesanteur est perpendiculaires aux courbes de niveau et orienté dans le sens des altitudes décroissantes ; Par analogie, le champ électrostatique est perpendiculaire aux équipotentielles et orienté vers dans le sens des potentiels décroissants.

1.12. L'équation de la droite est ici $V_C \approx 56 \cdot x$ (la distance entre les électrodes est de 11 cm) donc V_C est proportionnel à x .

remarque : On doit modéliser l'équation car sinon elle ne passe pas par l'origine (électrolyse de la solution)



1.13. On en déduit que le coefficient de proportionnalité entre V_c et x est E .

1.14. $V_c = U_{CA} = Ex$

1.15. le champ électrostatique est uniforme selon l'axe (Ox). Quand on éloigne la sonde selon l'axe (Oy), la direction du champ change car les équipotentielles ne sont plus parallèles aux plaques. Le champ est uniforme uniquement entre les deux plaques. (voir fig.1)

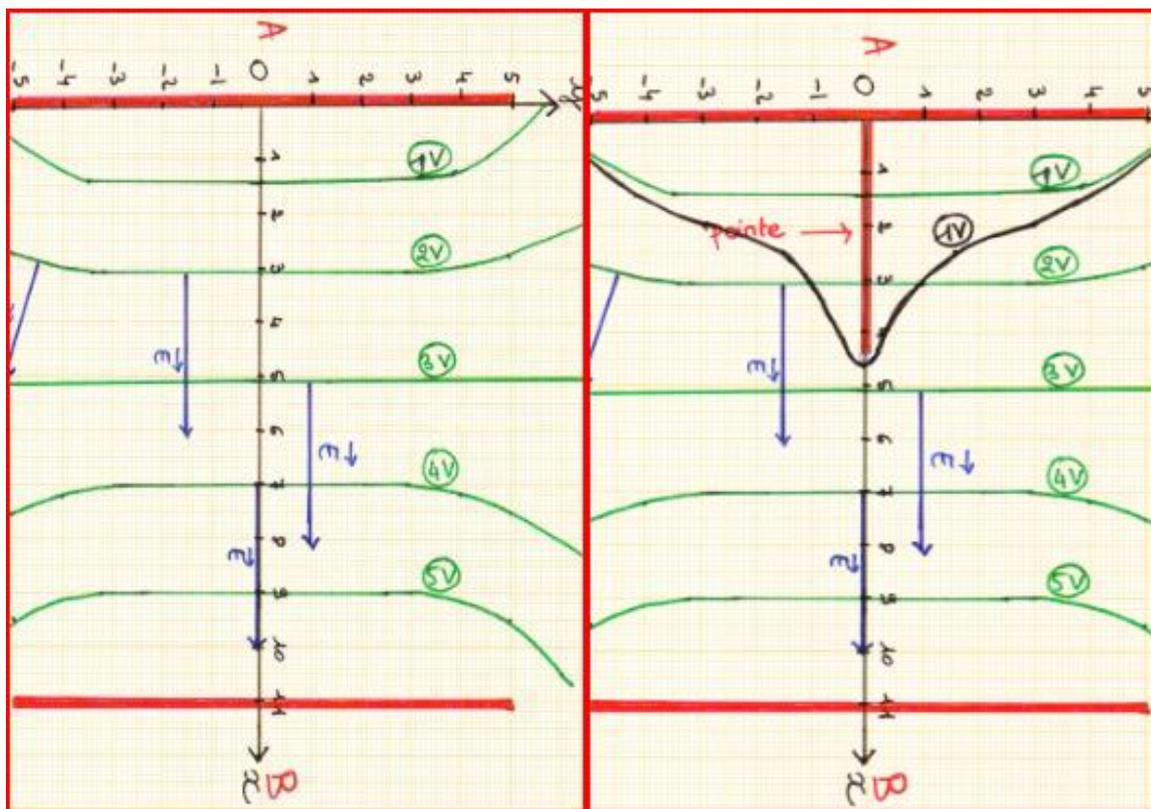


fig.1

fig.2

1.16. Les équipotentielles sont modifiées. La distance x entre la tige de cuivre (qui est au potentiel 0V) et l'équipotentielle 1V a diminué donc E a augmenté. Le champ électrostatique augmente autour de la pointe de cuivre : c'est le pouvoir des pointes.

La tige constitue le paratonnerre et la plaque B matérialise le ciel.(voir fig.2)

2. Que la force soit avec vous !

On fera réfléchir les élèves sur les conditions expérimentales :

- Comment optimiser la migration des ions ? (réponse : *en augmentant la valeur du champ électrostatique*)

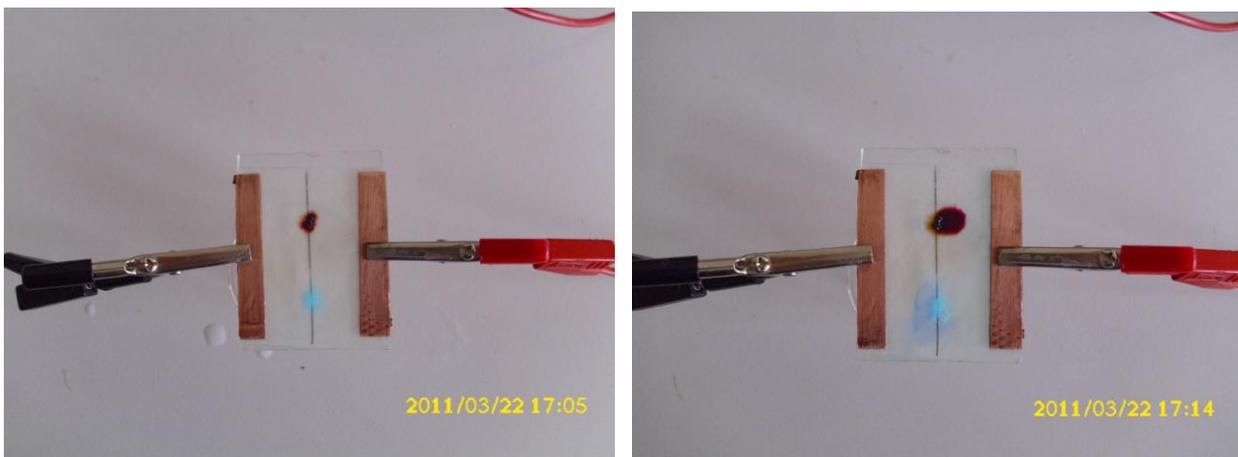
- Comment procéder ? (réponse : *en diminuant la distance d séparant les électrodes et/ou en augmentant U_{PN} , analyse de l'expression littérale $E = U/d$*)

L'électrolyte utilisé est une solution aqueuse de nitrate de potassium à $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$. Eviter la solution de chlorure de sodium à cause du dégagement gazeux de dichlore observé à l'anode. Veiller à ce que la plaque support soit bien horizontale et à chasser les bulles d'air entre la plaque de verre et le papier filtre imbibé de solution électrolytique.

Déposer peu de cristaux (surtout pour le permanganate de potassium) avec la pointe d'une spatule.

La migration est assez rapide avec une tension U_{PN} de 12V et une distance de 3 cm entre les deux électrodes. Les résultats sont visibles en moins de 10 min. Les élèves peuvent, éventuellement pendant ce temps, tracer le graphe V_c en fonction de x de la question 1.12

On peut conseiller aux élèves d'ajouter en cours d'expérience quelques gouttes d'ammoniaque sur le papier filtre pour mieux voir les ions cuivre (formation de l'ion complexe bleu foncé tétramminecuivre(II)).



Quelques réponses attendues :

2.1. Ions cuivre responsables de la couleur bleue ; ions permanganate responsables de la couleur violette

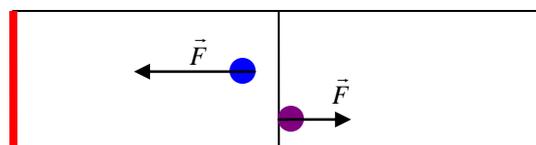
2.2. Les ions cuivre et les ions permanganate se sont déplacés sous l'action du champ électrostatique. Des forces électrostatiques s'exercent sur les ions.

2.3. Réponses possibles des élèves : de la charge des ions, de la valeur du champ électrostatique, de la tension U_{PN} , de la masse des ions pour certains élèves (confusion entre force et vitesse).....

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

2.7.

Plaque A chargée
négativement



Plaque B chargée
positivement

3^{ème} partie – Analogies entre le champ de pesanteur et le champ électrostatique

Dans cette partie, les élèves font une synthèse des connaissances acquises pendant l'activité expérimentale et font une analogie avec celles du chapitre sur le champ de pesanteur.

Dans les deux cas, on retrouve aussi la notion d'uniformité du champ dans un domaine d'espace défini.

La principale différence entre les deux modèles est le sens de la force car si $q < 0$ alors la force électrostatique sera dirigée vers le haut sur le schéma.