

DES EXPÉRIENCES SIMPLES POUR COMPRENDRE UNE PLANÈTE COMPLIQUÉE



8. CHARGEZ !

EXPÉRIENCES SUR L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME

Texte : Francisco Fernández Escobar et Susana A. Alaniz-Álvarez

Illustration: Luis D. Morán Torres

Traducteurs : Sandra Fuentes et Thierry Calmus

Universidad Nacional Autónoma del México

Enrique Luis Graue Wiechers
Recteur

Leonardo Lomelí Vanegas
Secrétaire général

William Henry Lee Alardín
Coordonnateur de la Recherche
Scientifique

Rosa Beltrán Álvarez
Coordonnateur de la Diffusion Culturelle

Socorro Venegas Pérez
Directeur Général des Publications et du Développement Éditorial

Lucia Capra Pedol
Directrice du Centro de Geociencias

Susana A. Alaniz Álvarez
Ángel F. Nieto Samaniego
Yadira H. Hernández Pérez
Coordinateurs de la Série

J. Jesús Silva Corona
Conception

Ma. Teresa Orozco Esquivel
Révisseuse technique

Susana A. Alaniz
Editeur technique

Sandra Fuentes Vilchis

Thierry Calmus
Traducteurs

Première édition: février 2022

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México

Centro de Geociencias
Universidad Nacional Autónoma de México
No. 3001, Boulevard Juriquilla, Querétaro
C.P. 76230, México

ISBN (Collection intégrale): 978-607-02-9195-1
ISBN: 978-607-30-5746-2

Imprimé et fabriqué au Mexique

Ce livre ne peut être reproduit en tout ou en partie, par aucun moyen
électronique ou autre, sans autorisation écrite des éditeurs.



INDEX

Introduction	3
Robert Andrews Millikan.....	4
EXPÉRIENCE 1. Charges électriques.....	5
EXPÉRIENCE 2. Comment l'électricité est-elle produite ?	9
EXPÉRIENCE 3. Conducteurs et isolateurs électriques ..	14
EXPÉRIENCE 4. Connexions électriques de base	19
EXPÉRIENCE 5. Magnétisme naturel	25
EXPÉRIENCE 6. Découverte d'Oersted	31
EXPÉRIENCE 7. L'électro-aimant	34
EXPÉRIENCE 8. Déviation avec des charges électriques	36
EXPÉRIENCE DE MILLIKAN. La charge d'un électron !	37
Remerciements	40
À propos des auteurs	40
À propos des traducteurs	41



8. CHARGEZ !

**Expériences sur l'électricité et le
magnétisme**

Introduction

Imagine que tu fais tes devoirs un dimanche soir, tu es seul avec ta sœur aînée, tes parents sont allés prendre un café dans le bâtiment à côté, la télévision est allumée et tu utilises la calculatrice pour faire des divisions. Soudain, tu entends le tonnerre et tu dis : « un orage électrique approche ». Dix minutes plus tard, la lumière s'éteint dans ton quartier et tout s'assombrit. Tu veux téléphoner à ta maman, mais comme le téléphone est branché, il ne fonctionne pas sans électricité ; tu décides de l'appeler par le portable, mais la pile est épuisée ; tu penses à aller chercher ta mère mais tu crains que la sonnette ne sonne pas. Dans l'obscurité, tu décides d'aller te coucher et de te lever tôt pour finir tes devoirs. Tu réveilles ta sœur parce que tu ne peux pas dormir et elle te conseille de compter les moutons ; tu reviens avec elle : fouet, aspirateur, ordinateur, radio, voiture, lampe, grille-pain, moulin, ventilateur, ascenseur, cafetière, micro-ondes, réfrigérateur, sèche-cheveux, fer à repasser, machine à coudre, calculatrice, batterie de la voiture, perceuse, réveil, jouets, radiateur, cuisinière, horloge, grille-pain, mixeur, projecteur, taille-crayon électrique... Tu commences à t'endormir jusqu'à ce que tu te demandes : « Mais pourquoi tout fonctionne à l'électricité ? ». Tu réveilles à nouveau ta sœur, parce que tu es à nouveau réveillé.

Cette huitième contribution de la série « Des expériences simples pour comprendre une Terre compliquée » est destinée à expliquer grâce à des expériences ce qu'est l'électricité et comment elle fonctionne, comment elle est liée au magnétisme et pourquoi elle est tellement utilisée pour faire fonctionner des objets : d'une certaine manière les choses fonctionnent en faisant bouger quelque chose d'autre. À la fin, nous présentons l'expérience qui a montré que les charges des électrons sont toutes les mêmes, et avec laquelle la charge d'un seul électron a été mesurée, un chiffre si petit qu'il a 18 zéros à droite de la décimale. C'est ce qu'on appelle « l'expérience de la goutte d'huile de Millikan » en honneur à son auteur.



Robert Andrews Millikan

Il est né en 1868 dans l'Illinois, aux États-Unis, et mort en Californie en 1953. En tant que professeur à l'Université de Chicago, il a publié plusieurs manuels de physique élémentaire qui firent référence. Le début du XXe siècle a été marqué par une avance impressionnante en Physique : on commençait à parler de Mécanique Quantique, l'électron avait été découvert en 1897, il était démontré que la lumière se comportait comme une particule (effet photoélectrique) et comme une onde, et Einstein publiait sa théorie de la relativité en 1915. Quand Millikan eut 40 ans, il n'était qu'un enseignant, mais il était ambitieux et voulait faire une contribution scientifique vraiment très importante ; c'est alors qu'il a commencé à faire des expériences pour mesurer la charge de l'électron. Plus tard, il a voulu démontrer expérimentalement qu'Einstein n'avait pas raison de proposer que la lumière se comportait comme une particule (ainsi que comme une onde). Après dix ans d'essais, Millikan n'a pu que prouver qu'Einstein avait raison. Millikan a reçu le Prix Nobel en 1923 par ses expériences sur la mesure de la charge de l'électron et de l'effet photoélectrique. Ces réalisations ont été obtenues grâce à sa capacité à détecter des aspects importants de la Physique, et parce que ses expériences se faisaient avec une précision impressionnante.

EXPÉRIENCE 1

« AVEC LA CHARGE SUR LE DOS »

Charges électriques

Puis-je déplacer quelque chose sans le toucher ?

Pour déplacer ou arrêter un corps, il est nécessaire d'appliquer une force. Nous vous montrons ici comment déplacer un objet sans le toucher.

MATÉRIEL

- Deux ballons
- Un feutre
- Du fil fin
- Un t-shirt en coton
- Une feuille de papier



MODE D'EMPLOI



1 Gonfle et attache deux ballons.

2 Avec le feutre, dessine ta main sur les ballons et, de l'autre côté, un cercle.



3 Attache un ballon avec le fil et accroche-le à une table pour former un pendule.

4 Tiens le ballon où tu as marqué ta main et frotte la région du cercle avec le t-shirt pendant dix secondes. Avec cette action, tu chargeras électriquement le ballon uniquement dans la zone du cercle.



5 Laisse à nouveau le ballon suspendu, doucement, en essayant de le maintenir dans sa position d'équilibre. Attends qu'il se stabilise complètement.

6 Approche très lentement ta main sur le ballon, puis la feuille de papier.

7 Approche le deuxième ballon chargé électriquement.



OBSERVE

Tu remarqueras que lorsqu'il est suspendu à un fil, le ballon se déplace facilement. Tu peux voir que le ballon tourne et s'approche de la main et du papier, mais s'éloigne du deuxième ballon frotté.

Si l'approche entre les ballons est rapide mais sans contact, tu verras que le ballon suspendu est déplacé et tourne jusqu'à ce que sa zone frottée soit aussi éloignée que possible du ballon que tu as dans la main. On constate également qu'avec le second ballon les effets de répulsion sont relativement plus forts que ceux d'attraction dans le cas précédent.

QU'EST-CE QUI PEUT ÉCHOUER ?

Si la zone du ballon chargée électriquement a été en contact avec un autre objet (comme ta main ou la feuille de papier), elle perd sa charge. Si le temps est très humide, il est plus difficile de charger électriquement le ballon et d'autres objets isolants. S'il y a des courants d'air, le ballon peut être déplacé même s'il n'a pas de charge électrique.

EXPLICATION

Ce que tu as observé est dû à la force qui se produit entre les charges électriques. Une telle force est d'attraction si les charges sont de signes opposés et elle est de répulsion si les charges sont du même signe.

Dans la nature, il existe deux types de charges électriques, appelées positive (+) et négative (-). Elles sont généralement en équilibre ; ce n'est que lorsque cet équilibre est perturbé que les effets électriques peuvent être remarqués.

Toute la matière est composée d'atomes et ceux-ci sont à leur tour constitués de particules plus petites appelées électrons, protons et neutrons. Les électrons ont la quantité minimale de charge électrique négative connue ($1,6 \times 10^{-19}$ coulombs) et tournent autour d'un noyau dans lequel se trouvent des protons, qui ont la même quantité de charge que les électrons, mais positive. Les neutrons sont également dans le noyau et n'ont aucune charge électrique.

Lorsque le frottement est effectué, la friction libère de nombreux électrons superficiels du coton qui passent à la surface du ballon et y restent, parce que le ballon ne permet pas aux électrons de s'y déplacer librement, c'est-à-dire qu'il n'est pas conducteur de charges électriques ; il serait également un bon isolant électrique. Ainsi, le ballon du pendule et l'autre, après avoir été frottés contre le tissu, se sont retrouvés avec un excès d'électrons, c'est-à-dire chargés négativement dans leurs zones de frottement.

APPLIQUE-LE À TA VIE QUOTIDIENNE

Tu pourras maintenant expliquer pourquoi nous ressentons parfois des courants électriques lorsque nous essayons de saisir un objet métallique tel qu'une poignée de porte. Les vêtements en fibres synthétiques sont un bon isolant électrique, comme le ballon, donc en les portant il est très probable que nous accumulons des charges électriques par le frottement avec d'autres personnes ou objets, et même avec le vent, car leurs molécules frottent nos vêtements provoquant une accumulation progressive de charges isolées. Si tu portes des vêtements en polyester ou en nylon, essaye de toucher fréquemment des objets métalliques afin de ne pas accumuler trop de charge. Il est préférable de porter des vêtements en coton car, bien qu'il puisse facilement céder des électrons par friction, il est neutralisé très rapidement par un simple contact avec d'autres objets.



TROUVE-LE DANS LA NATURE

Les éclairs sont formés par le frottement entre les cristaux de glace et la grêle qui se trouvent dans les nuages. Étant en choc continu, les électrons dans la glace se libèrent et la grêle les capture, se chargeant négativement. Généralement, lorsqu'il y a beaucoup de charges de même signe accumulées dans la partie inférieure du nuage, la décharge électrique se déplace vers le sol, bien qu'il y ait également des rayons entre les nuages et entre les parties hautes et basses du nuage. Des éclairs se forment également lors des éruptions volcaniques dans les nuages des cendres projetées par les volcans.



EXPÉRIENCE 2

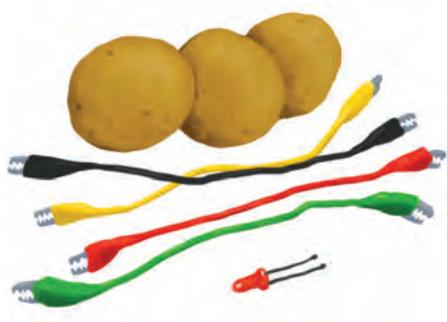
QUE LA LUMIÈRE SOIT

Comment l'électricité est-elle produite ?

La pile est une source d'énergie électrique, dans laquelle les réactions chimiques sont transformées en énergie électrique. Elle fonctionne lorsque certains métaux différents entrent en contact avec une solution acide ou saline. Tu peux construire une pile avec des pommes de terre et d'autres matériaux qui peuvent être obtenus dans une quincaillerie.

MATÉRIEL

- Trois pommes de terre.
- Une diode électroluminescente (LED).
- Trois tubes fins (ou fils épais) de cuivre.
- Un morceau de papier de verre (pour le tube de cuivre).
- Trois clous moyens (ou gros trombones) en fer galvanisé.
- Quatre câbles avec des pinces crocodiles.



MODE D'EMPLOI

1 Insère un clou et un tube en cuivre dans une pomme de terre pour former une pile ; les bornes électriques sont le clou galvanisé (-) et le tube en cuivre (+).



2 Connecte la LED aux bornes de ta pomme de terre à l'aide des câbles avec pinces crocodiles, en veillant à ce que la terminaison « + » de la LED se dirige vers le tube en cuivre et la terminaison « - » au clou. Note que, bien que la connexion soit correcte, la LED ne s'allumera pas car il faut au moins 1,5 volts et tu n'obtiens qu'environ 0,9 volts avec une pomme de terre.

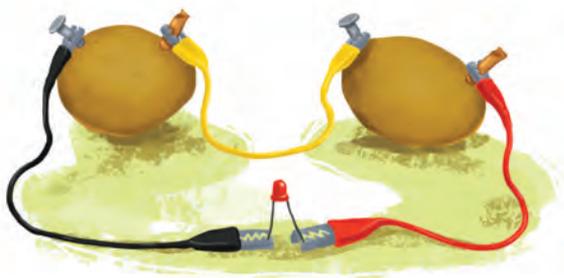


La LED sera utilisée comme détecteur et compteur relatif de la tension et de la puissance électrique de ta pile de pommes de terre, car c'est une sorte de petite bougie qui s'allume avec très peu d'énergie électrique, mais uniquement si elle est correctement branchée.



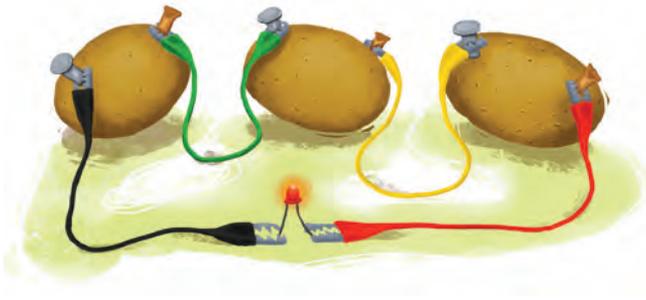
Tu dois identifier les terminaisons comme positif (+) et négatif (-), en observant la LED avec ses terminaisons vers toi. Le négatif est le plus proche du côté plat à la base de la LED, tandis que le positif est plus proche de la partie circulaire de la base. Tu dois également prendre en compte que la LED s'allume normalement avec 2 volts et 0,015 ampères de courant, bien qu'elle puisse s'allumer faiblement avec 1,5 volts et un courant plus faible.

3 Pour allumer la LED tu as besoin d'au moins deux pommes de terre connectées en série, de sorte que leurs tensions soient ajoutées et que



tu obtiennes l'équivalent d'une pile de $0,9+0,9=1,8$ volts. Pour la connexion en série, utilise un câble avec des pinces crocodiles et connecte un tube en cuivre avec le clou de l'autre pomme de terre (tu as joint « + » avec « - »). Ainsi, le clou et le tube enfoncés dans chacune des pommes de terre correspondent aux bornes « - » et « + » de ta pile d'1,8 volts. Si tu reconnectes maintenant correctement la LED à ta pile à deux pommes de terre, tu remarqueras qu'elle s'allume faiblement car tu as à peine atteint la tension requise.

4 Essaie d'allumer la LED en la connectant à trois pommes de terre en série. Tu auras donc une pile de 2,7 volts. Tu remarqueras que maintenant la LED s'allume avec plus d'intensité, mais ce n'est pas le maximum. Il est donc conseillé d'obscurcir son environnement avec ta main ou avec du ruban isolant.



OBSERVE

L'intensité avec laquelle la LED s'allume dépend non seulement de la tension appliquée (plus de pommes de terre en série = plus de tension), mais dépend également du courant dans le circuit, qui est fourni par les pommes de terre en fonction de la zone de contact avec les métaux que tu as introduits.

Avec la LED allumée par ta pile à trois pommes de terre, enfonce davantage les six électrodes, puis retire une ou plusieurs jusqu'à ce qu'elles soient sur le point de quitter la pomme de terre. Observe les changements d'intensité de la LED.

QU'EST-CE QUI PEUT ÉCHOUER ?

Les tubes en cuivre peuvent posséder des impuretés qui affectent le fonctionnement de ta pile. Ponce les tubes en cuivre mais ne ponce pas les clous, car tu enlèverais la couverture galvanisée à base de zinc, qui est l'autre métal nécessaire à ta pile. Une autre chose qui peut échouer, c'est que la connexion soit inversée, c'est-à-dire que le positif de la LED ne corresponde pas au positif (tube de cuivre) de ta pile de pommes de terre.

EXPLICATION

Chaque pomme de terre est une petite cellule électrique où les métaux sont les électrodes et l'acide naturel à l'intérieur est l'électrolyte. Le tube en cuivre libère des électrons, il est donc connu comme une électrode positive, tandis que le clou galvanisé piège les électrons, il est donc chargé négativement.

Pour allumer une LED, une ampoule ou un appareil électrique, il doit y avoir un circuit fermé de courant électrique. La tension générée dans la pomme de terre est due à la réaction des métaux

avec l'électrolyte (acide phosphorique) ; la disponibilité de courant dépend à la fois de la surface sur laquelle s'effectuent les réactions chimiques (on le constate lorsque les électrodes sont davantage enfoncées dans les pommes de terre) et de la force de ces réactions. Dans les piles commerciales, on utilise des acides agressifs qui sont dangereux et polluants.

APPLIQUE-LE À TA VIE QUOTIDIENNE

Il y a des piles minuscules appelées « piles bouton » qui sont utilisées dans certaines montres, calculatrices et lampes de poche à LED. D'autres sont de taille AAA, AA, C ou D qui sont utilisées dans les lampes de poche avec des ampoules à incandescence ou dans les appareils ou les jouets qui ont de petits moteurs électriques. Toutes ces piles fournissent 1,5 volts, mais leur taille reflète la quantité de courant qu'elles peuvent fournir et la durée durant laquelle elles peuvent maintenir ce courant. Dans toute source d'énergie électrique, non seulement la tension que fournit la pile est importante, mais aussi sa puissance. La puissance électrique est calculée en multipliant la tension par le courant.



EXPÉRIENCE 3

TOUS LES MATÉRIAUX CONDUISENT-ILS L'ÉLECTRICITÉ ?

Conducteurs et isolateurs électriques

Avec cette expérience, tu pourras distinguer les matériaux qui conduisent l'électricité de ceux qui ne le font pas parce qu'ils sont des isolateurs électriques. Tu pourras également remarquer qu'il existe des matériaux intermédiaires, c'est-à-dire qu'ils conduisent l'électricité avec un certain degré de difficulté, sans être complètement isolants.

MATÉRIEL

- Deux piles de 1,5 volts, taille D.
- Une épingle de sûreté de taille moyenne.
- Une petite ampoule à incandescence à vis (2,2 volts, 0,25 ampères) pour lampe.
- Trois câbles avec des pinces crocodiles.
- Deux crayons, numéro 2 ou dureté HB avec gomme.
- Une feuille de carton. Il peut s'agir de la moitié d'un dossier papier manille.
- Un morceau de feuille d'aluminium, d'environ 12 cm x 12 cm.
- Ciseaux et ruban isolant.

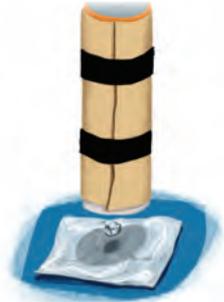


MODE D'EMPLOI



1 Coupe une bande de carton et fabrique un cylindre afin de pouvoir maintenir les deux piles ensemble, l'une derrière l'autre (en série).

2 Fais une petite boule au centre de la feuille d'aluminium et couvre l'extrémité du cylindre des piles, de sorte que la petite boule soit bien en contact avec le côté plat ou le côté négatif de l'une d'elles.



3 Mets la vis de l'ampoule dans l'épingle de sûreté fermée, afin qu'il y ait un bon contact entre elles ; utilise le ruban isolant pour assurer ton support de pile et son contact avec la feuille d'aluminium, mais laisse-la un peu visible afin que la pince crocodile de l'un des câbles puisse y être connectée. Connecte l'autre pince alligator du câble à l'épingle de sûreté.



4 Tu as pratiquement construit une lampe de poche avec deux piles en série, et pour la tester il te suffit de fermer le circuit en touchant la borne positive de tes piles avec l'autre pôle de la petite ampoule qui est en dessous de la vis. Veille à ce que le contact ne soit pas avec la vis de l'ampoule ou avec l'épingle de sûreté car tu ferais un court-circuit. Tu peux couvrir



la plupart de l'épingle et de la vis avec du ruban isolant, pour t'assurer de ne pas faire de court-circuit. Si tu n'as pas laissé de faux contacts, tu remarqueras que l'ampoule s'allume à son intensité maximale.



5 Retire les gommes de tes crayons. Coupe l'un des crayons en deux et taille toutes les extrémités, de telle sorte que tu aies un grand crayon et deux petits, tous avec une double pointe.



6 Utilise un câble avec des pinces crocodiles pour insérer l'un des petits crayons dans ton circuit de lampe de poche, mais fais en sorte que les pinces crocodiles ne mordent pas les pointes du crayon mais seulement le bois. Ferme à nouveau le circuit en touchant la borne positive des piles avec le pôle libre de l'ampoule et tu remarqueras qu'elle ne

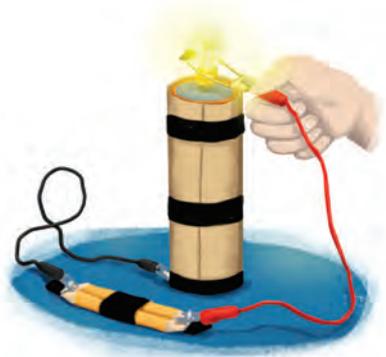
s'allume pas.

7 Si tu mets en contact des pinces crocodiles avec les pointes du crayon, l'ampoule s'allumera mais son intensité sera inférieure à celle obtenue lorsque le crayon n'était pas intercalé dans le circuit. Essaie d'allumer à nouveau l'ampoule, mais remplace le petit crayon par le grand et assure-toi que les pinces crocodiles mordent bien les pointes. Tu verras que l'ampoule s'allume presque imperceptiblement ou ne s'allume pas. La même chose se produit si au lieu du grand crayon, tu places les deux petits en série (l'un après l'autre), en utilisant le troisième câble avec des pinces crocodiles.



8 Rassemble les deux petits crayons l'un à côté de l'autre et utilise des morceaux de papier d'aluminium pour que leurs pointes proches soient en contact. Utilise le ruban isolant pour fixer le tout, mais laisse de l'aluminium libre à chaque extrémité pour le contact avec les pinces crocodiles.

Ce nouvel arrangement peut être appelé « crayons en parallèle » et si tu l'insères dans ton circuit comme s'il s'agissait d'un seul petit crayon, mais plus épais, tu remarqueras que lorsque tu fermes le circuit, l'ampoule s'allume plus intensément qu'avec un seul petit crayon.



EXPLICATION

Lorsqu'il n'y a que des fils dans ton circuit fermé, il n'y a pratiquement aucun obstacle à la circulation de tout le courant requis par l'ampoule (0,25 ampères), car les fils métalliques et les pinces crocodiles sont de bons conducteurs d'électricité. C'est pourquoi l'ampoule s'allume avec l'intensité maximale.

Le bois du crayon empêche ou résiste au passage du courant car c'est un bon isolant électrique, même s'il s'agit d'un petit morceau. Lorsque tu insères le bois du crayon, c'est comme si le circuit était toujours ouvert dans cette partie, donc l'ampoule ne s'allume pas. Le bois du crayon n'est qu'un support pour une barre de graphite, ce qui reste sur le papier lorsque tu écris. Le graphite est un matériau qui n'est ni complètement isolant ni

un bon conducteur de l'électricité. Il présente une opposition au passage du courant, appelée « résistivité électrique », qui est une propriété de tous les matériaux. Ainsi, on peut dire que les matériaux isolants ont une très grande résistivité (presque infinie), tandis que dans les conducteurs la résistivité est très faible (presque nulle).

Lorsque tu utilises un morceau de matériau (tel que le graphite du crayon), en plus de sa résistivité, sa longueur et son épaisseur jouent un rôle formant une « résistance électrique » qui augmente avec la longueur et diminue avec l'épaisseur. Par conséquent, le petit crayon présentait moins de résistance que le grand crayon, ce qui permettait le passage de plus de courant à travers le petit crayon. En comparant les effets d'un seul petit crayon avec deux de même longueur mais connectés en parallèle, l'épaisseur est augmentée (la résistance diminue) et plus de courant passe.



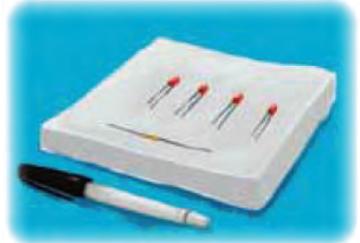
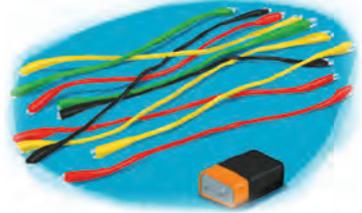
EXPÉRIENCE 4 CONNECTE-TOI

Connexions électriques de base

Il existe deux méthodes de base pour connecter des appareils à la même source d'énergie électrique : en série et en parallèle.

MATÉRIEL

- Une pile de 9 volts.
- Dix câbles avec des pinces crocodiles.
- Quatre LED de 5 mm de diamètre, rouges.
- Une résistance de 470 ohms (à 1 watt et 5% de tolérance).
- Un morceau de polystyrène.
- Un feutre.



MODE D'EMPLOI

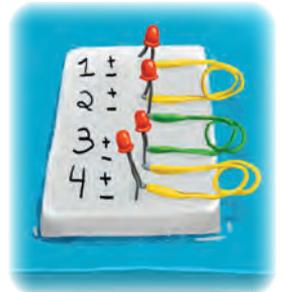


Connexion LED en série

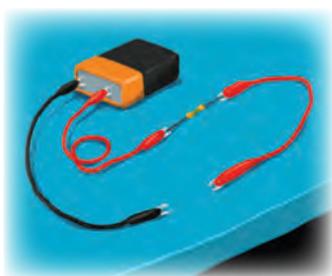
1 Marque avec le feutre sur le polystyrène quatre positions pour les LED, numérotées de 1 à 4 et réparties, avec les symboles « + »

et « - » qui doivent alterner lors du passage d'une position à une autre.

2 Insère dans le polystyrène chacune des LED dans chacune des positions marquées

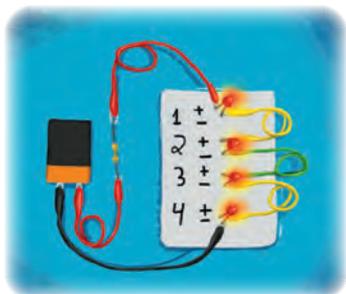


et avec la polarité spécifiée (identifie sur la LED le « + » et le « - » comme dans l'expérience 2). Prends trois câbles avec des pinces crocodiles pour connecter le « - » de la LED 1 avec le « + » de

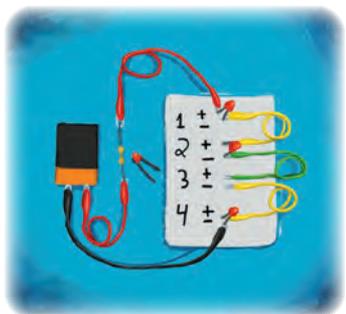


la LED 2, puis le « - » de la LED 2 avec le « + » de la LED 3 et enfin le « - » de la LED 3 avec le « + » de la LED 4.

3 Connecte la résistance de 470 ohms à la pile. Utilise des fils rouges pour te connecter au « + » de la pile et noirs pour identifier le « - » de la pile. Ne connecte pas la pile directement aux LED sans utiliser la résistance entre les deux, car tu les endommagerais toutes instantanément.

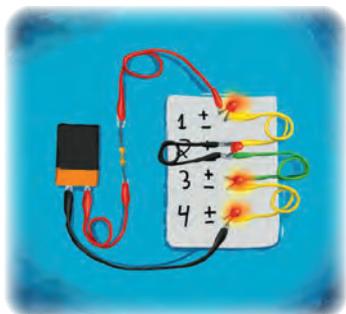


4 Connecte la pile et la résistance aux extrémités qui étaient libres dans le polystyrène : « + » de la pile au « + » de la LED 1 et le « - » de la pile au « - » de la LED 4. Note que toutes les LED s'allument.



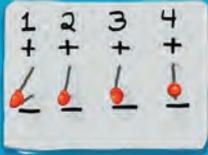
5 Si tu retires l'une des LED en faisant semblant de casser une ou deux de leurs extrémités, tu verras que toutes les LED s'éteignent.

6 Reconnecte-la et simule maintenant que l'une des LED a fait un court-circuit, reliant leurs extrémités d'un câble avec



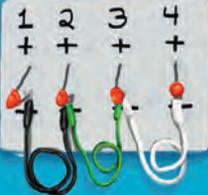
des pinces crocodiles. Tu remarqueras que cette LED s'éteint, mais que les autres restent allumées.

Le court-circuit peut être étendu à deux et trois LED pour voir que celles qui ne sont pas en court-circuit restent allumées mais avec une plus grande intensité.

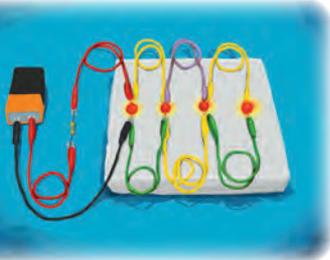


Connexion des LED en parallèle

7 Utilise l'autre côté du polystyrène pour marquer les positions, les nombres et les polarités des LED, que tu dois maintenant distribuer côte à côte, sur la largeur du polystyrène.



8 Avec trois câbles munis de pinces crocodiles, connecte leurs bornes négatives entre elles et fais de même avec les positives pour enfin connecter les quatre LED en parallèle.



9 Connecte la pile avec la résistance aux bornes respectives « + » et « - » des LED comme indiqué sur l'image : tu verras que les quatre s'allument.

10 Si tu retires l'une des LED (mais en gardant les connexions entre les pinces crocodiles), tu remarqueras qu'elle s'éteint mais que les autres restent allumées. Tu peux supprimer une LED de plus et même une troisième, pour voir que les autres sont toujours allumées et avec une intensité plus élevée que lorsque les quatre LED s'allument normalement en parallèle.



11 Enfin, reconnecte tes LED en parallèle et regarde les quatre s'allumer. Vois ce qui se passe lorsque tu effectues un court-circuit dans l'une d'elles. Choisis

celle que tu préfères et connecte ses extrémités avec un câble muni de pinces crocodiles. Tu remarqueras qu'elles s'éteignent toutes (quelle que soit celle que tu as choisie pour le court-circuit) et lorsque tu retires le câble, toutes les LED s'allument normalement.

OBSERVE

Lorsque tu retires une LED du circuit en série, toutes s'éteignent ; lorsqu'elles sont retirées du circuit en parallèle, les LED restantes sont allumées. Un court-circuit dans la série des LED permet aux autres de rester allumées, mais si le court-circuit se produit dans l'une des LED en parallèle, elles s'éteignent toutes.

EXPLICATION

Dans le circuit en série, il n'y a qu'un seul chemin pour le courant à travers la résistance et pour chacune des LED, car elles sont toutes connectées les unes aux autres. Ainsi, lors de la suppression d'une LED, le courant est interrompu et toutes sont éteintes.

Lorsque le circuit est fermé, le voltage de la pile (9 volts) est réparti à la fois dans les LED allumées et dans la résistance. Chaque LED consomme 2 volts, donc si les quatre sont allumées, elles consomment un total de 8 volts, laissant 1 volt pour la résistance. En court-circuitant l'une des LED, le courant n'est

pas interrompu mais seulement trois LED restent allumées qui consomment 6 volts et 3 volts restent dans la résistance. Si le court-circuit est au niveau de deux LED, il en reste deux allumées qui consomment 4 volts et il y a 5 volts dans la résistance. Le cas extrême est pour le court-circuit à trois LED, ne laissant qu'une seule allumée à 2 volts, et les 7 volts restants sont dans la résistance.

La valeur recommandée de la résistance est 470 ohms car dans le cas extrême (une seule LED allumée) le courant (I) dans la résistance est, selon la loi d'Ohm : $I = \text{Voltage}(V) / \text{Résistance}(R) = 7 \text{ volts} / 470 \text{ ohms} = 0,0149 \text{ ampères}$, qui est celui prévu pour l'éclairage normal de la LED (0,0150 A). Plus le nombre de LED allumées est élevé, plus le voltage aux bornes de la résistance est faible et, par conséquent, plus le courant dans le circuit est faible, ce qui rend les LED moins brillantes, mais ne les endommage pas. Encore un exercice : avec les quatre LED allumées, le courant dans la résistance et dans le circuit s'avère être : $I = 1 \text{ volt} / 470 \text{ ohms} = 0,0021 \text{ ampères}$. N'oublie pas que chaque LED consomme 2 volts, ce qui fait 8 volts pour quatre LED, raison pour laquelle il ne reste plus qu'un volt dans la résistance.

Dans le circuit parallèle, la tension est la même dans chacune des LED (2 volts) car elles sont connectées côte à côte. Ainsi, le courant à travers la résistance est de 0,0150 ampères, mais maintenant il est réparti entre les LED allumées d'une manière similaire au courant d'une rivière dont les eaux se divisent au gré des méandres du lit. Avec quatre LED allumées, le courant dans chacune est de 0,0037 ampères ; avec trois, il est de 0,0050 A, avec deux, il est de 0,0075 A et avec une seule, il est de 0,0150 A. Lors de la mise en place d'un câble en court-circuit dans n'importe

quelle LED, toutes les autres souffrent également du court-circuit, car le courant préfère passer par le conducteur à résistance presque nulle, comme si les LED restantes n'étaient pas là. C'est pour cette raison que tout le voltage de la pile apparaît dans la résistance. Avec le court-circuit, nous avons à nouveau un courant de $9 \text{ volts} / 470 \text{ ohms} = 0,019 \text{ ampères}$, qui génère de l'énergie calorifique et chauffe un peu la résistance.

APPLIQUE-LE À TA VIE QUOTIDIENNE

L'un des exemples les plus courants de connexion en série ce sont les anciennes guirlandes lumineuses de Noël. Lorsque l'une des petites lampes fondait, le circuit s'ouvrait et une section entière s'éteignait, jusqu'à ce que toutes les lampes fussent testées et que celle endommagée fût remplacée.

La connexion parallèle est la plus utilisée. L'énergie électrique que nous avons à la maison est distribuée dans des douilles (pour connecter des ampoules) et des prises (pour connecter des appareils), toutes en parallèle. Tu peux avoir tous, quelques-uns ou aucun appareil ou lampe connectés, sans que ceci affecte le fonctionnement des autres, sauf si la consommation de courant disponible est dépassée, soit en raison d'un trop grand nombre de lampes allumées ou d'appareils en fonctionnement, soit, pire

encore, en raison d'un court-circuit. C'est pourquoi les installations électriques ont des fusibles qui ouvrent le circuit électrique lorsqu'il y a trop de charge.

N'essaie pas de faire des expériences avec l'énergie électrique domestique, car la tension est très élevée (127 volts au Mexique) et tu peux mettre ta vie en danger.



EXPÉRIENCE 5

QUEL EST LE NORD D'UN AIMANT ?

MAGNÉTISME NATUREL

La première connaissance du magnétisme est attribuée aux Grecs, puisque vers l'an 600 av. J.-C. ils ont trouvé pour la première fois, dans la région de Magnésie, certaines pierres qui avaient la propriété d'attirer de petits morceaux de fer. Ces pierres contenaient un minéral appelé magnétite, qui dans le langage courant est la pierre magnétique, ou aimant naturel.

Parmi les premières applications du magnétisme, outre les rituels magiques, il faut citer l'invention de la boussole autour du IXe siècle de notre ère. Dans les boussoles récentes, on utilise un aimant ou un disque aimanté qui tourne. La rose des vents est également incluse, qui sert de guide pour identifier les directions. Tu peux construire une boussole en utilisant des matériaux simples ; avec elle, tu peux t'orienter et faire des expériences avec d'autres aimants.

MATÉRIEL

- Un aimant.
- Une petite boule de polystyrène (3 à 5 cm de diamètre).
- Une fine aiguille à coudre.
- Un cure-dent arrondi avec des pointes.
- Deux clous pour bois, respectivement de 2.5 et 5 cm de long. Veille à ce que l'épaisseur



du petit clou soit légèrement inférieure à celle du cure-dent et l'épaisseur du grand clou légèrement supérieure à celle du cure-dent.

- Un couvercle en plastique de bidon d'eau (de 20 litres) ou équivalent.
- Un verre rempli d'eau.
- Ruban adhésif, stylo et ciseaux.



CONSTRUCTION DE LA BOUSSOLE

1 Demande à un adulte de couper un peu moins de la moitié de la boule de polystyrène, afin d'avoir un capuchon de 8 à 10 mm d'épaisseur. Avec le gros clou, fais un trou dans le capuchon dans le centre, de part en part.



2 Prends le couvercle en plastique et utilise le petit clou pour percer le fond de celui-ci, au centre, jusqu'à ce qu'il passe à travers. Retire le clou et mets



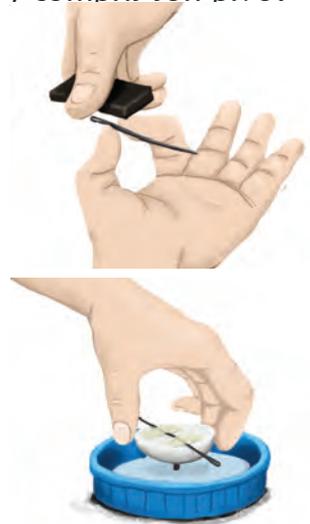
de côté le couvercle.

3 Coupe un morceau du cure-dent, entre 1,2 et 1,4 cm, à partir de l'une de ses pointes. Insère le morceau du cure-dent dans le trou du couvercle, au ras de sa face extérieure, en veillant à ce que le cure-dent soit vertical.



Couvre la face extérieure du couvercle avec un morceau de ruban adhésif pour éviter les fuites d'eau. Avec cela, tu auras terminé le réservoir d'eau de ta boussole, y compris son pivot de rotation.

4 Magnétise l'aiguille en lui collant l'aimant pendant quelques secondes. Place l'aiguille sur la face plate du capuchon, en veillant à ce que la partie centrale de l'aiguille coïncide avec le trou. Utilise des morceaux de ruban adhésif pour fixer l'aiguille au capuchon de polystyrène. Insère le capuchon contenant l'aiguille magnétique dans le bâton du couvercle en plastique.



5 Ajoute de l'eau au couvercle jusqu'à ce que le capuchon flotte et tourne facilement. Avec cela, tu auras terminé l'assemblage de ta boussole. Tu remarqueras que l'aiguille magnétique est alignée dans la direction géographique nord-sud.



6 Place une boussole commerciale près de ta boussole - pas côte à côte - pour tester son fonctionnement. Ici, tu réaliseras vers où, au nord ou au sud, est dirigé le chat de l'aiguille. Tourne les deux boussoles ou change-les de place manuellement et tu verras que l'aiguille magnétique conserve son orientation, tant qu'il n'y a



pas d'autres aimants à proximité ou d'autres sources de champ magnétique. Essaie de mettre ensemble les deux boussoles et tu verras que deux boussoles ne valent pas mieux qu'une, car elles interfèrent l'une avec l'autre.

IDENTIFIER LE NORD D'UN AIMANT



1 Identifie toutes les faces de l'aimant à l'aide du ruban adhésif et du stylo. Par exemple, les faces de plus grande surface peuvent être appelées côtés A et B.



2 Approche l'aimant de ta boussole, petit à petit et à la même hauteur que le plan de rotation de l'aiguille (utilise un support improvisé si nécessaire). Approche-le jusqu'à ce que tu remarques une déviation de l'aiguille de ta boussole. Essaie de rapprocher l'aimant des côtés restants. Tu peux voir qu'il existe des différences significatives dans la façon dont l'aiguille tourne, selon le côté de l'aimant (A ou B) orienté vers le haut.

3 Maintenant, approche l'aimant de côté et tu remarqueras qu'il y a des rotations plus fortes dont le sens dépend beaucoup du côté de l'aimant que tu approches.



EXPLICATION

Les aimants ont toujours deux pôles magnétiques actuellement appelés nord et sud, car avec le temps (au XIXe siècle de notre ère) on a découvert que la Terre est un gigantesque aimant naturel, dont les pôles magnétiques sont très proches des pôles géographiques nord et sud. Comme pour les charges électriques isolées, il existe également des forces attractives ou répulsives entre deux aimants, selon la proximité des pôles opposés ou des pôles égaux des deux aimants. C'est-à-dire que le pôle nord d'un aimant attire le pôle sud d'un autre aimant et repousse le pôle nord. De même, le pôle sud du premier aimant attire le pôle nord du deuxième aimant et repousse le pôle sud de ce dernier. L'aiguille aimantée de ta boussole est un minuscule aimant, avec un pôle nord et un pôle sud, qui est immergé dans le champ magnétique de notre planète. Dans l'expérience, le chat de l'aiguille pointe vers le nord de la Terre, ce qui signifie que le chat est le pôle magnétique sud de l'aiguille.

Notre planète, en tant que grand aimant naturel, a également une distance énorme entre ses pôles, donc l'intensité de son magnétisme est très faible. Seuls les objets magnétisés, légers et suspendus pour qu'ils puissent tourner librement (comme l'aiguille de ta boussole), sont ceux qui peuvent détecter le champ magnétique terrestre. Lorsque tu approches un autre aimant de ta boussole, il perd son orientation avec le magnétisme de la Terre, car le champ magnétique de l'autre aimant prédomine, même s'il est petit.

Tu peux identifier les pôles magnétiques de n'importe quel aimant tout en le rapprochant de la boussole et remarquer quel

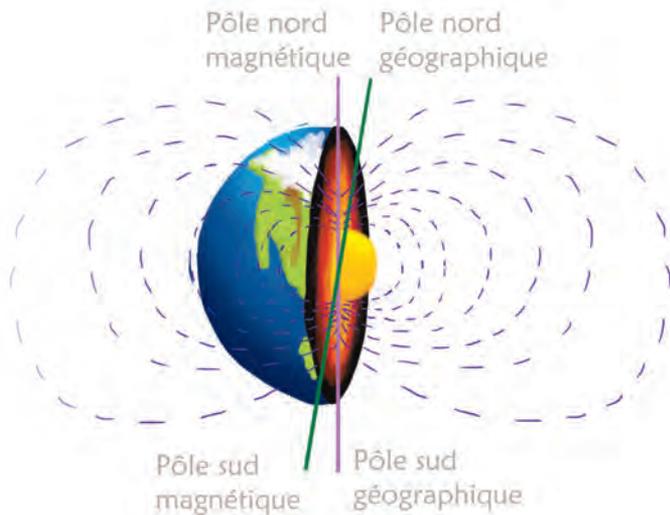
côté de l'aimant produit la plus grande déviation de l'aiguille et son orientation. Dans le cas présenté, les pôles de l'aimant sont les côtés A et B, soit A le pôle nord (fortement attiré par le chat de l'aiguille) et B le pôle sud (correspondant à la pointe de l'aiguille).

QU'EST-CE QUI PEUT ÉCHOUER ?

Si jamais tu utilises une boussole pour t'orienter, évite la proximité d'aimants et d'objets magnétisables (comme certains métaux), pour éviter des lectures erronées ou prendre une mauvaise direction.

DANS LA NATURE

La Terre a un champ magnétique naturel car son noyau externe est formé en grande partie de fer fondu en mouvement continu. On sait que les pôles du champ magnétique terrestre ont changé de nombreuses fois au fil du temps, car les roches volcaniques, une fois refroidies, ont enregistré l'orientation du champ magnétique.



EXPÉRIENCE 6

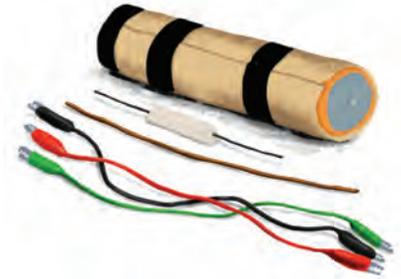
DÉCOUVERTE D'OERSTED



Il y a un peu moins de 200 ans, on apprenait que le magnétisme était également produit par un flux d'électrons, c'est-à-dire par un courant électrique. En 1820, le physicien danois Hans Christian Oersted a découvert que l'aiguille aimantée d'une boussole s'écartait lorsqu'un câble ou un fil métallique conduisant un courant électrique s'en approchait.

MATÉRIEL

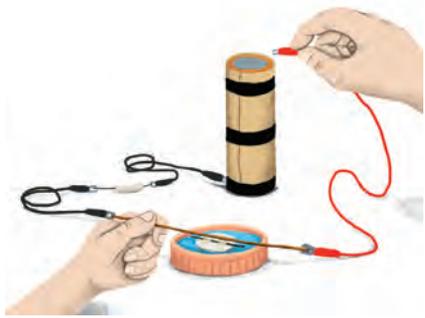
- Une boussole.
- Un tube fin (ou fil métallique épais) de cuivre, d'une longueur supérieure ou égale à 6 cm.
- L'agencement de 2 piles de taille D que tu as utilisé dans l'expérience 3.
- Une résistance de 1,5 ohms à 10 watts de puissance.
- Trois câbles avec des pinces crocodiles.



MODE D'EMPLOI

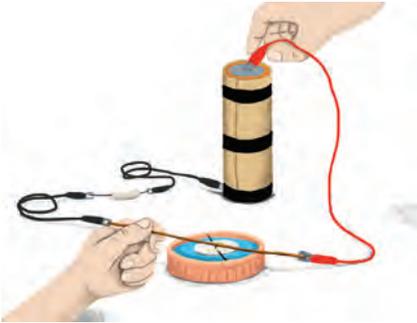
1 Connecte chaque extrémité du fil métallique aux pôles de ta pile de 3 volts avec la résistance de 1,5 ohm connectée en série ; la résistance empêchera la pile de se décharger très rapidement et les câbles de chauffer. Utilise des câbles noirs pour

connecter le pôle négatif et rouges pour connecter le pôle positif. Ne connecte pas encore le rouge à la pile.



2 Place d'abord le fil métallique au-dessus de la boussole afin qu'il soit aligné avec l'aiguille. Tu remarqueras que lorsque le fil est

connecté à la pile, l'aiguille de la boussole tourne : remarque dans quel sens elle le fait. Lorsque la pile est déconnectée, la boussole revient à sa position d'origine.

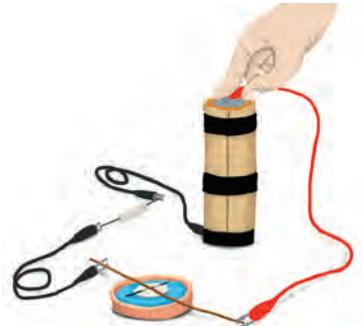


3 Répète le processus précédent, mais en inversant maintenant la polarité de la pile. Tu remarqueras que maintenant l'aiguille de la

boussole tourne dans la direction opposée.



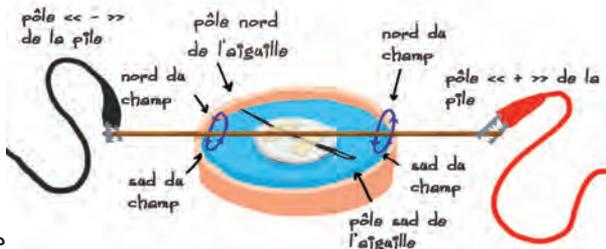
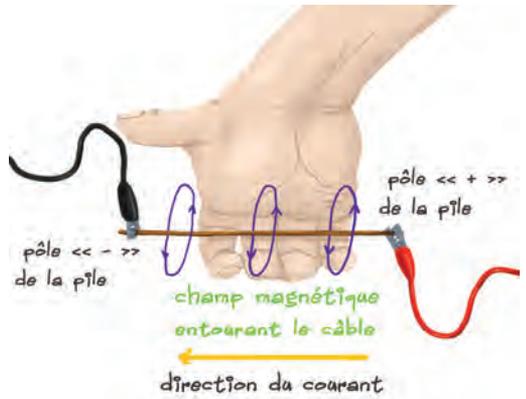
4 Essaie de placer le fil métallique perpendiculairement à l'aiguille de la boussole. Si tu l'as fait correctement, il ne tournera pas, même si tu inverses la polarité de la pile.



EXPLICATION

Oersted a découvert que tout courant électrique produit un champ

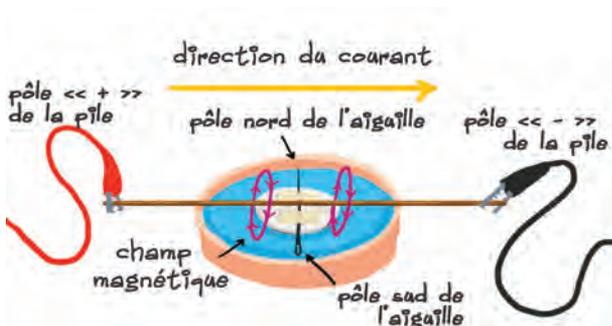
magnétique autour sa direction. Actuellement, la « règle de la main droite » est utilisée pour connaître la direction dudit champ magnétique. La direction du courant électrique est indiquée par le pouce, qui va du pôle « + » au pôle « - » de la pile, et le bout des autres doigts pliés indique la direction du champ magnétique.



C e

champ

dévie l'aiguille lorsque le fil métallique est parallèle aux lignes de champ, alors qu'il ne provoque aucun effet si le fil est perpendiculaire. Dans le premier cas, le champ magnétique est oblique par rapport à l'aiguille, tandis que, dans le second cas, le champ est aligné avec elle.



EXPÉRIENCE 7

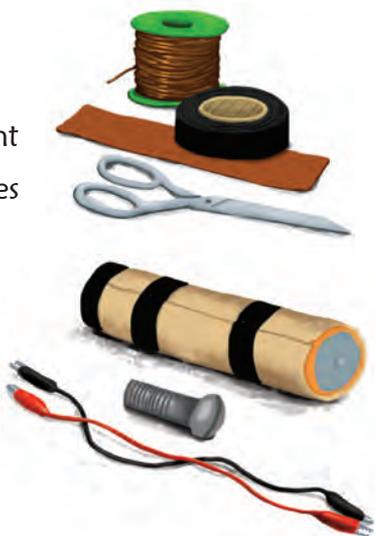
FAITES UN AIMANT !

L'Électroaimant

Une application immédiate de l'expérience Oersted est l'électroaimant que tu peux construire en enroulant du fil émaillé sur un noyau ferromagnétique et en le connectant à une source d'énergie électrique.

MATÉRIEL

- Une pile de taille D, ou l'agencement de 2 piles de taille D que tu as utilisées dans l'expérience 3.
- Cinq mètres de fil émaillé de calibre 28.
- Une vis épaisse de fer (de 6 mm de diamètre ou plus grand), et d'au moins 3 cm de longueur. Deux câbles avec des pinces crocodiles.
- Un morceau de papier de verre, du ruban adhésif et des ciseaux.



MODE D'EMPLOI

Fixe une extrémité du fil émaillé avec un morceau de ruban adhésif sur la vis et enroule le fil métallique aussi uniformément que possible sur trois couches ou jusqu'à ce que les 5 mètres de fil métallique soient enroulés. Ponce ensuite les extrémités du fil métallique pour retirer





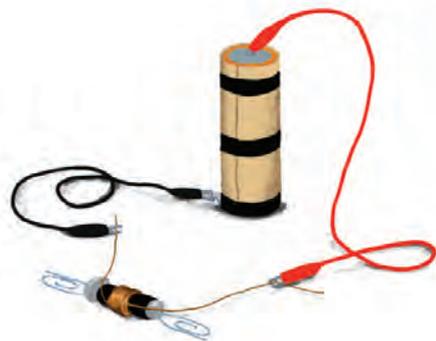
l'émail où tu vas connecter la pile.

En enroulant le fil, tu fais chevaucher les champs magnétiques générés par chaque tour à l'intérieur du noyau ferromagnétique qui est un matériau qui a la propriété de permettre la circulation des champs magnétiques très facilement.

Ton électro-aimant est maintenant prêt à fonctionner. Pour le tester, connecte l'une de ses bornes au pôle négatif de la pile et

laisse son autre borne prête à se connecter au pôle positif.

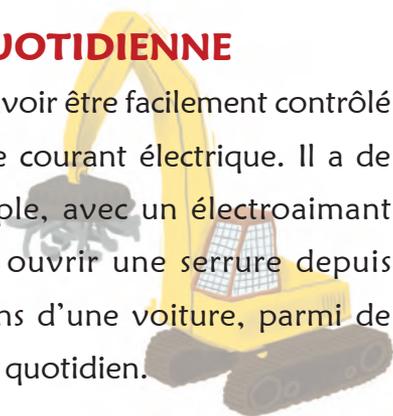
Approche un trombone de l'électro-aimant avant de le connecter et tu verras que rien ne se passe ; ensuite, complète la connexion à la pile et tu remarqueras que le



trombone est attiré par l'électro-aimant, et que tu peux même le soulever tout en maintenant la connexion avec la pile.

APPLIQUE-LE À TA VIE QUOTIDIENNE

L'électroaimant a l'avantage de pouvoir être facilement contrôlé en connectant ou déconnectant le courant électrique. Il a de multiples utilisations ; par exemple, avec un électroaimant on soulève la ferraille, on peut ouvrir une serrure depuis un interphone, actionner les freins d'une voiture, parmi de nombreuses autres applications au quotidien.



EXPÉRIENCE 8

CHANGER LE COURS

Déviation avec des charges électriques

MATÉRIEL

- Un gros ballon
- De l'eau
- Un compte-gouttes
- Une feuille blanche, format lettre



MODE D'EMPLOI

1 Remplis le compte-gouttes d'eau et dépose des gouttes sur le papier.

2 Charge le ballon en le frottant sur tes cheveux ou sur une chemise en coton.

3 Mets le ballon avec la partie chargée près du trajet où tu laisseras à nouveau



tomber les gouttes. Les gouttes d'eau s'écartent de la trajectoire d'origine même si le ballon n'entre pas en contact avec l'eau.

EXPLICATION

Les gouttes d'eau se chargent électriquement (par induction) lorsqu'elles passent à proximité de la zone chargée du ballon. Par conséquent, les gouttes sont attirées vers le ballon



ce qui provoque une déviation de leur trajectoire. Les gouttes tombent par gravité ; si au lieu d'un ballon placé sur le côté, tu places au dessus du compte-gouttes un matériau avec une charge électrique beaucoup plus grande, tu peux réduire la vitesse de chute des gouttes, et si la charge électrique était très grande, tu pourrais même les faire monter.

EXPLICATION DE L'EXPÉRIENCE MILLIKAN

Obtiens la charge d'un électron !

Remarque : cette expérience ne peut être effectuée que dans un laboratoire de Physique Expérimentale.

La plus petite charge électrique qui puisse exister est celle d'un électron. Dans l'expérience suivante, nous vous expliquons comment Robert Millikan a obtenu la valeur de cette unité fondamentale.

MATÉRIEL

- De l'huile.
- Un vaporisateur de parfum.
- Un microscope.
- Deux plaques métalliques.
- Un générateur électrique de plusieurs milliers de volts.
- Un récipient fermé.

MODE D'EMPLOI

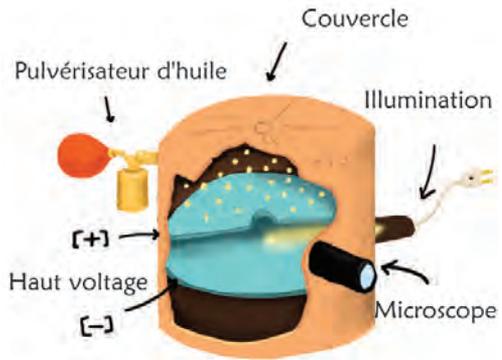
1 Millikan a fait trois trous dans les parois du récipient pour l'éclairage, le microscope et le vaporisateur.

2 Il a placé les plaques métalliques horizontalement dans le récipient ayant fait un trou précédemment dans la plaque supérieure, de sorte que les gouttelettes d'huile provenant du vaporisateur puissent tomber.

3 Il a chargé les plaques sous plusieurs milliers de volts.

4 Avec le vaporisateur, il a pulvérisé des gouttelettes d'huile sur le récipient et les a regardées tomber à travers le microscope.

5 Il a réglé la tension jusqu'à ce que les gouttelettes d'huile restent suspendues entre les deux plaques.



OBSERVATION

Au microscope, il pouvait voir les gouttelettes d'huile tomber entre les deux plaques ; le contrôle de la tension (et par conséquent du champ électrique) a permis d'obtenir une seule goutte en équilibre entre les deux plaques.

COMMENT MILLIKAN A T-IL CALCULÉ LA CHARGE ÉLECTRIQUE

La suspension de la goutte d'huile entre les deux plaques a été obtenue pour la raison suivante :

- Les gouttelettes sont tombées par gravité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier MM. Achim M. Loske Mehling, Ángel F. Figueroa Soto et Ángel Fco. Nieto Samaniego qui ont passé en revue la partie technique du travail. Nous remercions également MM. Jorge Escalante González, Paola A. Botero Santa, Alexis del Pilar Martínez, Patricia Alaniz, Fabricio Sánchez « Faboc », Leonel Fernández, Héctor Martínez et Juan Pablo Martínez, qui se sont assurés que les expériences pouvaient être reproduites avec les explications du texte. La correction de style a été faite par Odette Alonso. Ce livret a pu voir le jour grâce au projet PE102513 (UNAM).

À propos des auteurs

Francisco Fernández Escobar

Physicien diplômé de la Faculté des Sciences de l'UNAM, il a obtenu son Master en Sciences (Physique) dans la même institution. En tant que physicien expérimental, il travaille à l'UNAM depuis 1976, et partage son temps entre la technologie scientifique et l'enseignement. Il a travaillé à la Faculté des Sciences entre 1976 et 1986 et à l'Institut de Physique de 1986 à 2001, à la Cité Universitaire de Mexico, avec une spécialité en instrumentation électronique. Au cours des 14 dernières années, il s'est consacré à l'expérimentation des ondes de choc au Centre de Physique Appliquée et de Technologie Avancée de l'UNAM, campus Juriquilla, au Quérétaro, où il est également professeur de troisième cycle en Sciences et Ingénierie des Matériaux.

Susana A. Alaniz Álvarez

Elle a fait des études d'Ingénierie Géologique et a obtenu son doctorat en Sciences de la Terre à l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM). Elle est chercheuse titulaire échelon C au Centre de Géosciences et est diplômée et professeure de premier cycle en Sciences de la Terre au campus Juriquilla de l'UNAM. Elle est l'auteur de 77 publications scientifiques. Elle appartient à l'Académie des Sciences Mexicaine, au Système National de Chercheurs niveau III et est Membre de l'Académie d'Ingénierie.

A PROPOS DES TRADUCTEURS

Thierry Calmus

Il a obtenu son Doctorat en Géologie Structurale à l'Université Paris VI en 1983. Il est chercheur titulaire échelon C à l'Institut de Géologie de l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM), membre de l'Académie des Sciences Mexicaine ainsi que du Système National des Chercheurs (SNI). Il a reçu le prix du Professeur de l'Année en 2017 attribué par l'Union Géophysique Mexicaine. Il a publié 60 articles scientifiques, dont un grand nombre sur la géologie et la tectonique du nord-ouest du Mexique. Il a été co-éditeur en chef de la *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* de 2012 à 2016 ainsi que chef de la Station Régionale du Nord-Ouest de l'Institut de Géologie de 2002 à 2011 et depuis 2018.

Sandra Fuentes Vilchis

Elle a obtenu sa Licence en Littérature Française en 1986 et sa Maîtrise en Littérature Comparée en 1993 à l'Université Nationale Autonome du Mexique, ainsi que son Diplôme en Traduction à l'Ambassade de France en 1989. Elle est professeure titulaire à l'École Nationale Préparatoire (ENP) et a été Responsable du Département de Français dans cette Institution. Elle participe à la Commission d'évaluation des professeurs de l'ENP. Elle a participé à plusieurs programmes PAPIME et INFOCAB de l'UNAM.



La série "Des expériences simples pour comprendre une planète compliquée" est basée sur la liste des plus belles expériences de l'histoire, publiée par le magazine Physics World en septembre 2002. Elles ont été choisies pour leur simplicité, leur élégance et pour le changement qu'elles ont apporté à la pensée scientifique de son époque. Chaque numéro de cette série est consacré à l'une de ces expériences. Notre objectif est de te faire comprendre, par des expérimentations, des phénomènes qui se produisent à la fois dans notre vie quotidienne et sur notre planète. Ce numéro est consacré à l'expérience des gouttes d'huile de Millikan.

Livres de cette série

1. La pression atmosphérique et la chute des corps
2. La lumière et les couleurs
3. Eureka ! Les continents et les océans flottent
4. Le temps suspendu à un fil
5. La Terre et ses vagues
6. La mesure de la Terre
7. L'âge de la terre
8. **Chargez !**

Tu peux télécharger la série complète dans la page:

<https://tellus.geociencias.unam.mx/index.php/lenguas-ciencia/>

