

Comment la science répond à nos questions sur les phénomènes électriques ?



Paul Martin, ing., Ph.D.

25/06/2014

Introduction

Pourquoi une pomme qui se décroche d'un arbre tombe par terre? Pourquoi y a-t-il des éclairs dans le ciel lors d'un orage électrique? Comment se fait-il qu'une note colle sur la porte du frigo? Comment un train peut-il rouler? Voilà des questions pertinentes que l'on peut se poser et nous vous proposons la science pour y répondre!

La science, c'est une manière de penser lorsqu'on étudie la nature. On a la méthode scientifique qui propose quatre étapes principales dans l'étude d'un phénomène naturel.

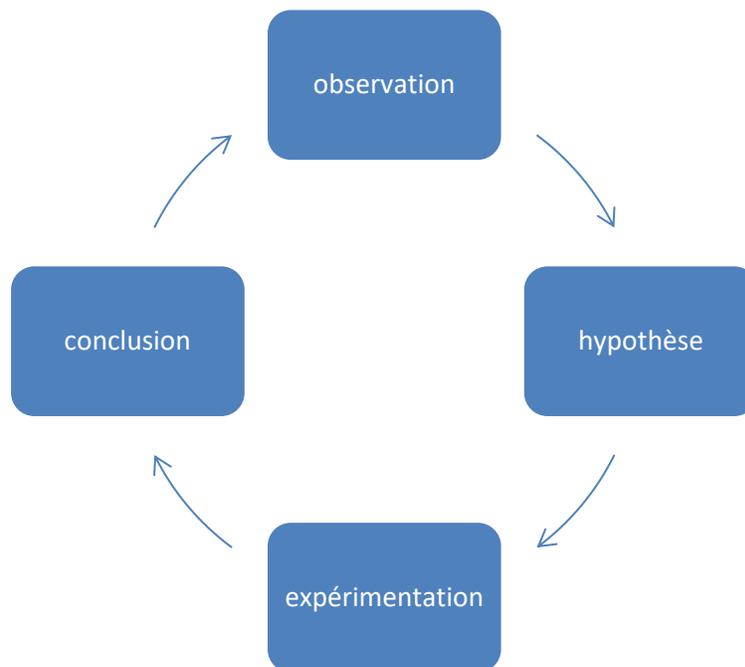


Figure 1 : La méthode scientifique

Introduction

On observe : qu'une pomme tombe par terre, que la foudre frappe durant un orage, qu'un train roule, etc. On observe alors l'effet d'un phénomène.

Si on est curieux, on se pose la question : « Pourquoi cela se produit-il »? Alors on tente de répondre à cette question en formulant une hypothèse. Avec la nature, on relie souvent la cause d'un phénomène à une force. L'image que nous nous faisons de la force est représentée souvent par un homme musclé soulevant un poids.



Figure 2 : L'image de la force

Nous émettons alors l'hypothèse que l'homme est fort puisqu'il est capable de soulever un poids lourd. En fait, le poids exerce

Introduction

une force qui se dirige toujours vers la terre et l'homme fort doit exercer une force plus grande vers le haut pour le soulever.

D'ailleurs, un jour que le physicien anglais Isaac Newton s'était endormi au pied d'un pommier, il reçut une pomme sur la tête. Il se posa alors la question : « Pourquoi cette pomme est-elle tombée vers la terre plutôt que d'aller vers le ciel »?

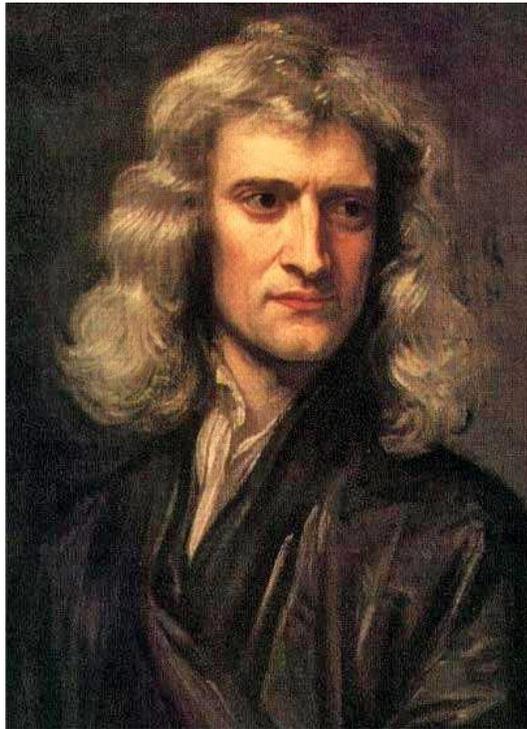


Figure 3 : Sir Isaac Newton qui vécut de 1643 à 1727

Il répéta l'expérience avec divers objets et il conclut qu'une force s'exerce sur tout objet dans la direction du sol. On appelle cette force la gravité mais on dit plutôt le poids dans le langage courant.

Lorsqu'on effectue plusieurs expériences envers une même hypothèse et que l'on conclut toujours qu'elle est vraie, alors on

Introduction

énonce une loi. Ainsi, on a la loi de la gravité pour expliquer la chute des objets.

Avec la méthode scientifique, on arrive à expliquer d'autres phénomènes. Entre autres, des phénomènes dans les domaines de l'électricité qui gradent en complexité de l'électrostatique jusqu'à l'électrodynamique.

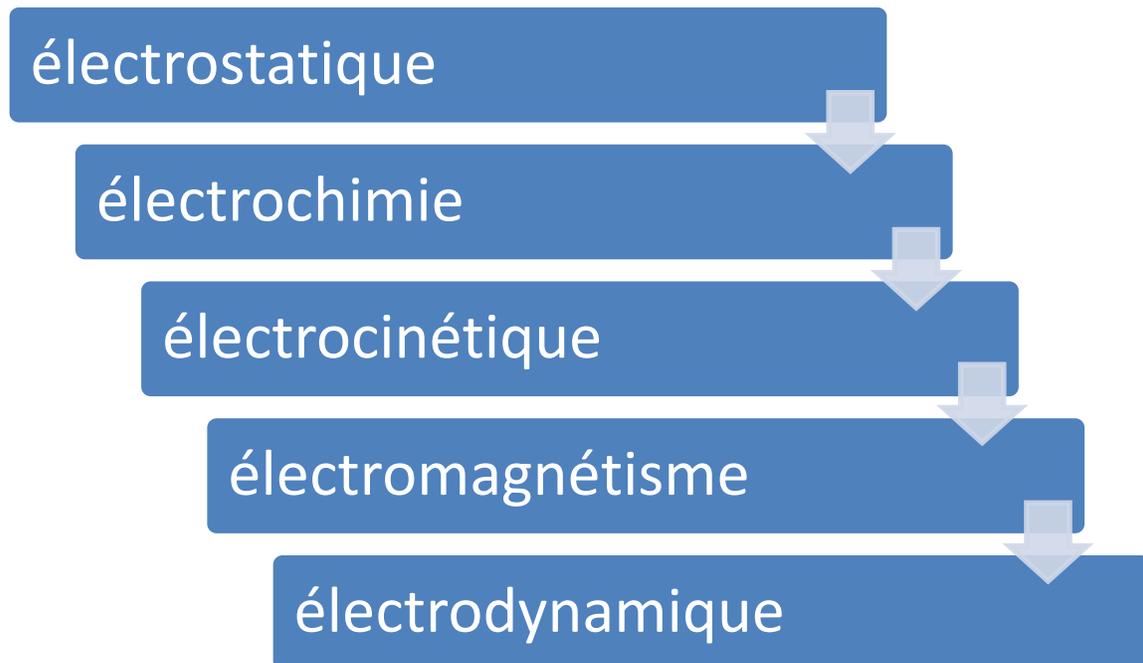


Figure 4 : Les phénomènes électriques

Nous allons appliquer la méthode scientifique pour étudier tous ces phénomènes électriques. Ainsi, nous aurons l'observation, la formulation d'une hypothèse, l'expérimentation et la conclusion pour chaque phénomène étudié.

Chapitre 1 : L'électrostatique

Une première question que l'on est en droit de se poser est :

Avons-nous déjà vu ça de l'électricité?

L'observation

Certains diront qu'ils ont déjà vu tomber la foudre et d'autres qu'ils ont déjà vu des étincelles en dessous des couvertures de leur lit ou encore, un éclair bleu dans la prise de courant, etc. En fait, on ne peut observer directement l'électricité. Les étincelles et les éclairs ne sont que les effets d'un phénomène électrique. Ces divers phénomènes relèvent de l'électrostatique que nous appelons plus brièvement «la statique ».

Deux vêtements qui collent ensemble après avoir été dans une sècheuse à linge montrent un effet de la statique mais il y a aussi les cheveux qui restent droits sur la tête comme on voit avec l'image ci-dessous.



Figure 5 : La statique dans les cheveux

L'électrostatique

Donc, nous avons parfois des objets qui se collent ensemble et d'autres fois, des cheveux qui s'écartent. Comment cela se fait-il?

L'hypothèse

Le physicien et ingénieur français Coulomb formula l'hypothèse que la matière contient des charges électriques de deux types différents.



Figure 6 : Charles Augustin Coulomb

Plus précisément, il affirma que l'on retrouve des charges positives (+) et des charges négatives (-). Il va plus loin en affirmant qu'une force d'attraction s'exerce entre une charge positive et une charge négative alors qu'on a une force de répulsion (les charges se repoussent) entre deux charges positives ou deux charges négatives. Il ajouta que la force d'attraction ou de répulsion diminue si on augmente la distance entre les charges.

L'électrostatique

Depuis l'Antiquité, soit environ 400 ans avant Jésus-Christ, les Grecs croyaient que la matière était composée de toutes petites particules indivisibles appelées atomes. En 1911, le physicien anglais Ernest Rutherford proposa un modèle de l'atome qui tient compte des forces s'exerçant entre les charges électriques. Il fut professeur à l'Université McGill de Montréal au début du XXe siècle.

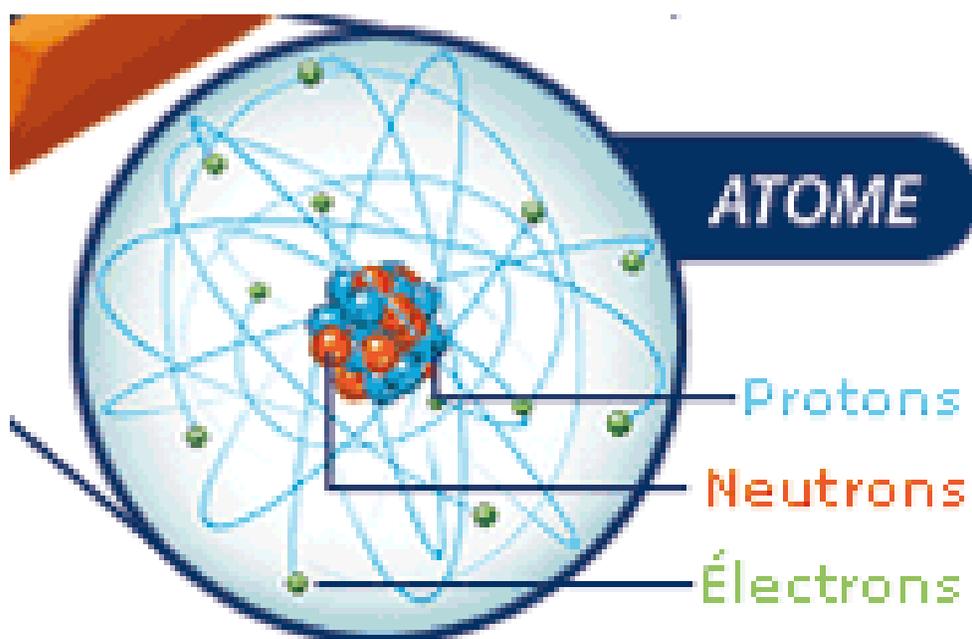


Figure 7 : Le modèle de l'atome

Des très petites particules gravitent autour du noyau de l'atome et ont une charge électrique négative (-); on appelle ces très petites particules des électrons, d'où le mot « électricité ». Dans le noyau de l'atome, on retrouve des très petites particules positives (+) appelées protons. On retrouve également dans le noyau des

L'électrostatique

neutrons qui n'ont aucune charge électrique mais qui ont pour rôle de retenir ensemble les protons.

On dit qu'il y a environ un milliard d'atomes dans l'épaisseur d'un cheveu. Normalement, un objet composé de milliard d'atomes est électriquement neutre, c'est-à-dire que l'effet des charges négatives annule l'effet des charges positives.

Cependant, on retrouve des matériaux conducteurs et des matériaux isolants. Un matériau conducteur laisse circuler facilement les électrons alors que ce n'est pas le cas pour un matériau isolant.

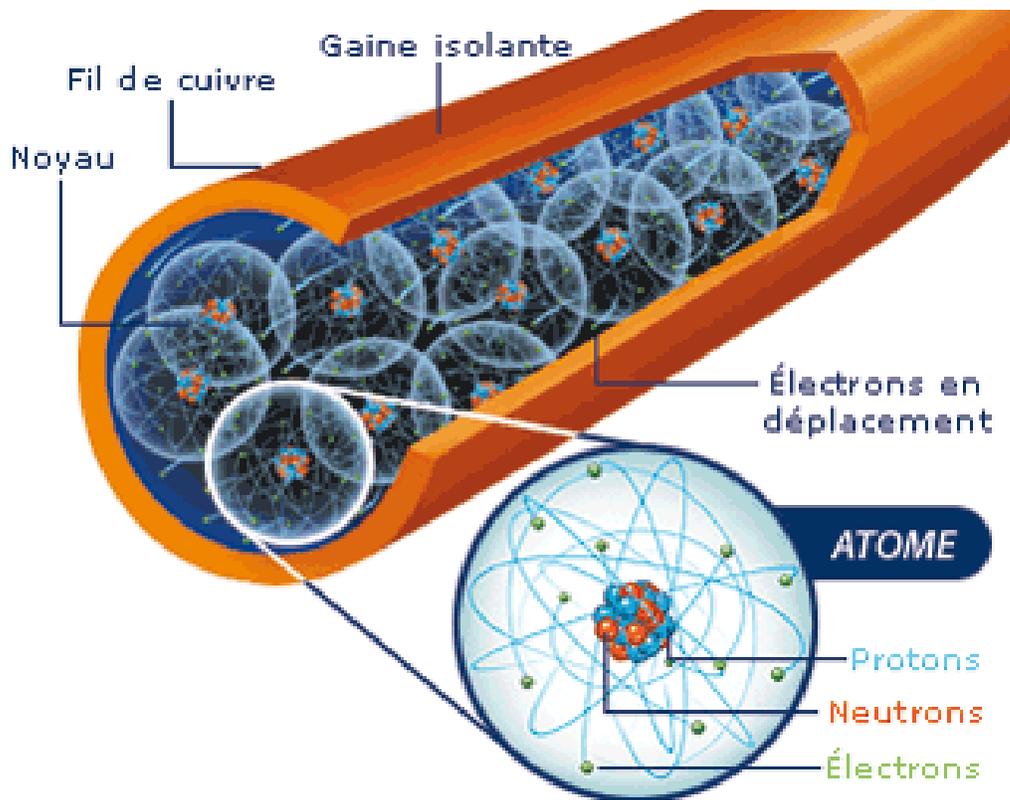


Figure 8 : Le fil électrique

L'électrostatique

Cette image du fil électrique n'est pas à l'échelle puisqu'il faudrait compter des milliards d'atomes dans ce fil. On voit quand même que le centre est composé de cuivre, un matériel conducteur, alors que le caoutchouc forme normalement la gaine isolante.

Tout cela est bien beau mais comment expliquons-nous les phénomènes de la statique? On l'explique par le frottement qui produit de la chaleur et fait décoller les électrons d'un atome pour un matériau isolant.

L'expérimentation

Voyons maintenant quelques phénomènes pour tester cette hypothèse de Charles Augustin Coulomb.

- *La foudre*

Regardons par exemple un nuage composé de molécules d'eau. Chacune de ces molécules est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H₂O).



Figure 9 : Le nuage chargé

L'électrostatique

La chaleur amenée par le rayonnement solaire vient produire un amoncellement d'électrons avec des charges négatives. Ces charges négatives viennent attirer les charges positives de la terre ou l'océan.

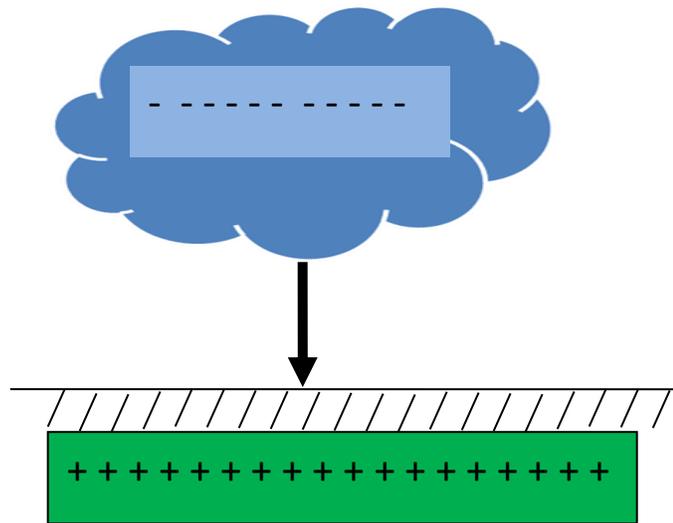


Figure 10 : Les charges électriques en jeu

Une force d'attraction s'exerce entre les électrons dans les nuages et les protons sur la surface terrestre. Quand cette force devient trop grande, on a la foudre.



Figure 11 : La foudre

L'électrostatique

La foudre, c'est un peu comme un camion trop lourd qui passe sur un pont. Qu'arrive-t-il? Le pont s'écroule n'est-ce pas? Il en va de même avec la foudre, nous avons une force d'attraction entre les électrons dans les nuages et les charges positives de la terre mais lorsque cette force devient trop grande il y a rupture par la circulation des électrons dans l'air.

C'est bien beau tout ça mais y a-t-il une différence entre la foudre, les éclairs et le tonnerre?

La foudre est un phénomène électrique causée par la force d'attraction entre des charges négatives et des charges positives. On observe les effets de ce phénomène avec nos yeux lorsqu'on voit un éclair et avec nos oreilles lorsqu'on entend le tonnerre. Normalement, on voit l'éclair avant d'entendre le tonnerre parce que la lumière voyage beaucoup plus vite que le son. D'ailleurs, on peut estimer la distance où la foudre est tombée en comptant le temps entre l'éclair et le tonnerre. Si l'on compte trois secondes, la foudre est tombée à 1 kilomètre.

- *Le générateur de Van de Graaf*

Le physicien américain Robert Van de Graaf (1901 – 1967) développa en 1929 une machine à produire des charges électriques dont la figure 12 de la page suivante reproduit le schéma.

L'électrostatique

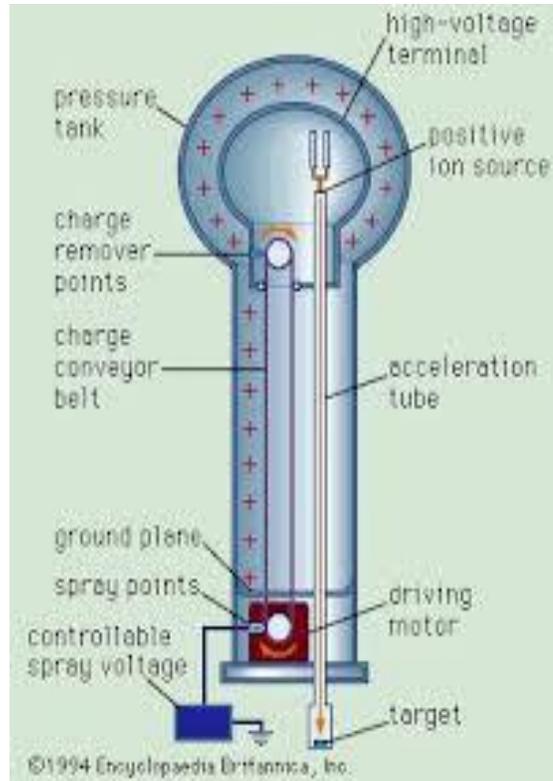


Figure 12 : Le générateur de Van de Graaf

On actionne une courroie qui en frottant produit des charges électriques positives. Ces charges positives viennent se déposer sur la surface d'une sphère métallique conductrice.

Comme le montre la figure 13 de la page suivante, la jeune fille devient chargée positivement lorsqu'elle touche à la sphère du générateur de Van de Graaf. Voilà pourquoi ses cheveux se repoussent entre eux.



Figure 13 : Une tête pleine de charges positives

En effet, cette jeune fille a une tête pleine de charges positives et nous vérifions ainsi l'hypothèse de Coulomb qui dit que des charges positives se repoussent entre elles. À noter que cette jeune fille a les pieds sur une base isolante en caoutchouc pour éviter que les charges fuient vers le sol.

- ***Le paratonnerre***

Un aspect de l'hypothèse de Coulomb vient nous dire que la force électrique diminue si on augmente la distance entre deux charges électriques. C'est avec cette hypothèse que Benjamin Franklin (1706 – 1790), un inventeur américain, développe le paratonnerre en effectuant des expériences avec des cerfs-volants durant des orages électriques. Il conclut que plus un objet, relié à la terre par

L'électrostatique

un fil électrique, s'approche des nuages, plus la force électrique devient grande et provoque par le fait même la foudre.



Figure 14 : La foudre tombant sur un paratonnerre

Ainsi, les édifices en hauteur (tour du CN à Toronto avec l'image ci-dessus) et les clochers d'église deviennent des paratonnerres efficaces en ce sens qu'ils empêchent la foudre de s'abattre sur les personnes et les édifices environnants.

Par conséquent, on ne doit pas circuler sur l'eau ou dans un champ lors d'un orage électrique car on n'est plus à l'abri de la foudre lorsqu'il n'y a pas de parafoudre.

L'électrostatique

• *Les expériences*

En plus des phénomènes que nous venons d'étudier, on présente ici diverses expériences qui vont nous aider à confirmer les hypothèses de Coulomb. Attention, les expériences en électrostatique doivent être faites dans un environnement sec; des mains humides peuvent influencer les résultats.

○ L'expérience de la potence

➤ *L'observation*

On observe une attraction entre des objets en plastique et en verre.

➤ *L'hypothèse*

En frottant une règle en verre avec un papier brun, on produit des charges positives alors qu'en faisant de même avec une règle en plastique, on génère des charges négatives. Donc, il devrait y avoir une attraction entre les deux règles.

➤ *L'expérimentation*

Matériel :

- 1 règle en verre ou acrylique
- 1 règle en plastique
- 1 papier brun
- 1 potence pour suspendre la règle en verre (voir figure 15 à la page suivante)

Manipulations :

- Touchez les deux règles sur toute leur longueur avec les deux doigts d'une main pour enlever toutes les charges électriques résiduelles.

L'électrostatique

- En tenant la règle en vitre à une extrémité avec deux doigts, frottez l'autre extrémité avec le papier brun. Suspendez-la à la potence en prenant bien soin de ne pas toucher à la partie frottée.
- En tenant la règle de plastique à une extrémité avec deux doigts, frottez l'autre extrémité avec le papier brun. Approchez cette règle de la règle suspendue sans y toucher. Observez ce qui se passe.

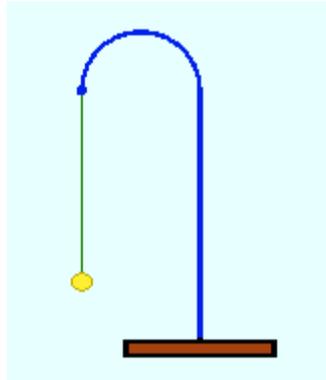


Figure 15 : La potence

- *La conclusion*
Les résultats de l'expérience devraient nous amener à confirmer l'hypothèse.
- *L'expérience de l'électroscope*
 - *L'observation*
On observe que la statique peut aussi produire la répulsion des cheveux entre eux.

L'électrostatique

➤ *L'hypothèse*

En frottant une règle de verre avec un papier brun, on produit des charges positives. En recourant à un électroscope comme il est montré à la figure 16 ci-dessous, on repousse les charges positives sur des lames conductrices. Une force de répulsion devrait s'exercer entre ces lames puisqu'elles ont des charges électriques de même polarité.



Figure 16 : L'électroscope

➤ *L'expérimentation*

Matériel :

- 1 règle en plastique
- 1 papier brun

L'électrostatique

- 1 électroscope (on peut fabriquer un électroscope avec une boîte de pilules vide; il s'agit de percer un trou dans le couvercle en plastique et de laisser suspendre à l'intérieur un crochet en cuivre auquel on suspend deux lamelles de papier d'aluminium).

Manipulations :

- Touchez la règle sur toute sa longueur avec les deux doigts d'une main pour enlever toutes les charges électriques résiduelles.
- En tenant la règle à une extrémité avec deux doigts, frottez l'autre extrémité avec le papier brun. Ensuite approchez-la du crochet en cuivre de l'électroscope sans y toucher. Observez ce qui se produit.

➤ *La conclusion*

Vérifiez si l'hypothèse se confirme avec les charges négatives générées par la règle de plastique.

○ *L'expérience avec des bouts de papier*

➤ *L'observation*

En frottant un peigne en plastique dans nos cheveux, on observe qu'il attire une feuille de papier.

➤ *L'hypothèse*

On sait qu'en frottant du plastique, on produit des charges négatives. Donc, on suppose que le papier est naturellement chargé positivement.

L'électrostatique

➤ *L'expérimentation*

Matériel :

- 1 règle en plastique
- 1 papier brun
- Bouts de papier

Manipulations :

- Touchez la règle sur toute leur longueur avec les deux doigts d'une main.
- Frottez-la avec le papier brun et approchez-la des bouts de papier.

➤ *La conclusion*

Avons-nous seulement une force d'attraction en présence?
Que pouvons-nous conclure d'autre que la confirmation de l'hypothèse?

○ *L'expérience avec un ballon*

➤ *L'observation*

On observe que des ballons pour les fêtes d'anniversaire se collent parfois sur divers objets.

➤ *L'hypothèse*

Quel type de charges électriques y a-t-il sur un ballon?

➤ *L'expérimentation*

Matériel :

- 1 ballon soufflé

Manipulation :

L'électrostatique

- Frottez le ballon sur votre tête.

➤ *La conclusion*

Quel type de charge électrique y a-t-il dans les cheveux?

Quelles sont les forces en présence (attraction/répulsion)?

Conclusion sur l'électrostatique

L'étude des phénomènes de la foudre, du générateur de Van de Graaf, du paratonnerre ainsi que les conclusions des diverses expériences devraient nous amener à conclure de la véracité de l'hypothèse de Coulomb. Or, lorsqu'une hypothèse se confirme presque toujours avec l'expérimentation, elle devient une loi. Nous avons donc la loi de Coulomb qui s'énonce comme suit :

Une force s'exerce entre deux charges électriques. Les charges s'attirent si l'une des charges est positive (+) et l'autre négative (-). Elles se repoussent si elles sont toutes les deux positives ou si elles sont toutes les deux négatives. Cette force diminue si la distance entre les charges augmente.

D'ailleurs cette question de distance entre les charges est importante. Rappelons le modèle de l'atome qui contient des protons, des électrons et des neutrons. Les protons et les neutrons se retrouvent dans le noyau de l'atome alors que les électrons gravitent autour. De plus, le proton représente une particule avec une charge positive. Or, à l'intérieur du noyau ces charges positives sont très près les unes des autres et par la loi de Coulomb, il y a une force de répulsion très grande. C'est

L'électrostatique

justement le rôle des neutrons de produire une force d'attraction très grande pour annuler la force électrique de répulsion. On nomme cette force exercée par les neutrons, la force nucléaire.

Un proton contient une charge positive élémentaire alors que l'électron possède une charge négative élémentaire. Dans la pratique, on retrouve des objets composés de milliards d'atomes. On doit donc avoir une unité de mesure de la charge électrique plus près de l'échelle humaine. Les scientifiques se sont penchés sur la question et ont nommé cette unité de mesure de la charge électrique, le Coulomb; et vous savez pourquoi! On note cette unité de mesure par C et un C équivaut à 6 000 000 000 000 000 000 électrons, soit 6 milliards de milliards d'électrons.

À leur tour les atomes se regroupent en molécules. Par exemple, une molécule d'eau comprend deux atomes d'hydrogène pour un atome d'oxygène, d'où l'appellation H_2O . Certains matériaux, composés de milliards de molécules, vont faciliter la circulation de charges électriques alors que d'autres non.

Nous avons vu également avec le paratonnerre que la force d'attraction augmente lorsque la distance diminue avec le nuage chargé. Une question que l'on est droit de se poser à ce moment-ci est : « Pourquoi observe-t-on la foudre en été mais jamais en hiver »? La réponse nous provient de la chimie des matériaux. En effet, l'été l'air est chaud et humide, c'est-à-dire qu'on y retrouve des molécules d'eau qui facilite le passage des charges électriques alors que l'hiver l'air est froid et sec. Or, l'eau conduit plus facilement l'électricité que l'air.

L'électrostatique

Est-ce que les objets sont toujours neutres, c'est-à-dire que les charges positives annulent les charges négatives? L'étude des phénomènes électrochimiques peut répondre à cette question.

Chapitre 2 : L'électrochimie

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la matière se compose de toutes petites particules appelées atomes. Or, il existe 103 types d'atomes différents dans l'univers. En combinant ces atomes entre eux on provoque une réaction chimique qui parfois libère des électrons. Alors, on n'a plus besoin de frotter des objets pour obtenir des charges électriques!

Mais quels sont les objets qui contiennent de l'électricité?

L'observation

On n'a qu'à penser au fonctionnement des appareils électroniques. Quel objet permet le fonctionnement du jouet, du téléphone cellulaire, de la tablette électronique?

Certains diront qu'il s'agit de la pile et d'autres de la batterie! Y a-t-il une différence entre les deux? Oui, une pile possède toujours deux électrodes : l'une positive (+) et l'autre négative (-). En revanche, la batterie constitue un assemblage de piles. Ainsi, si deux piles sont nécessaires pour le fonctionnement d'un jouet, nous dirons qu'il s'agit d'une batterie.

L'hypothèse

La pile électrique a été inventée en 1800 par le physicien italien Alessandro Volta.

L'électrochimie



Figure 17 : Alessandro Volta qui vécut de 1745 à 1827

Il découvrit que les charges électriques produites par la réaction chimique développent une force électromotrice que l'on appelle aussi la tension électrique. En mesurant cette tension électrique, on peut savoir si la pile ou la batterie contient suffisamment de charges électriques pour faire fonctionner un appareil.

Des scientifiques se sont réunis pour donner un nom à l'unité de mesure de la tension électrique. Ils ont décidé que ce serait le volt. Vous savez sans doute pourquoi! On note le volt par V. Dans le langage courant on dit aussi le voltage pour désigner la tension électrique.

D'ailleurs, une pile possède toujours deux électrodes de matériaux conducteurs entre lesquels on a des produits effectuant une réaction chimique comme le montre la figure 18.

L'électrochimie



Figure 18 : La pile

La réaction chimique s'effectue entre les différents matériaux indiqués dans le schéma ci-dessus. On a le bouton métallique du dessus qui représente l'électrode positive alors que le dessous métallique se confond avec l'électrode négative. On mesure la tension électrique en raccordant un voltmètre entre ces électrodes.

D'ailleurs, on peut comparer la tension électrique mesurée aux bornes d'une pile à la pression exercée au bas d'un réservoir de liquide comme le montre le schéma de la figure 19 à la page suivante.

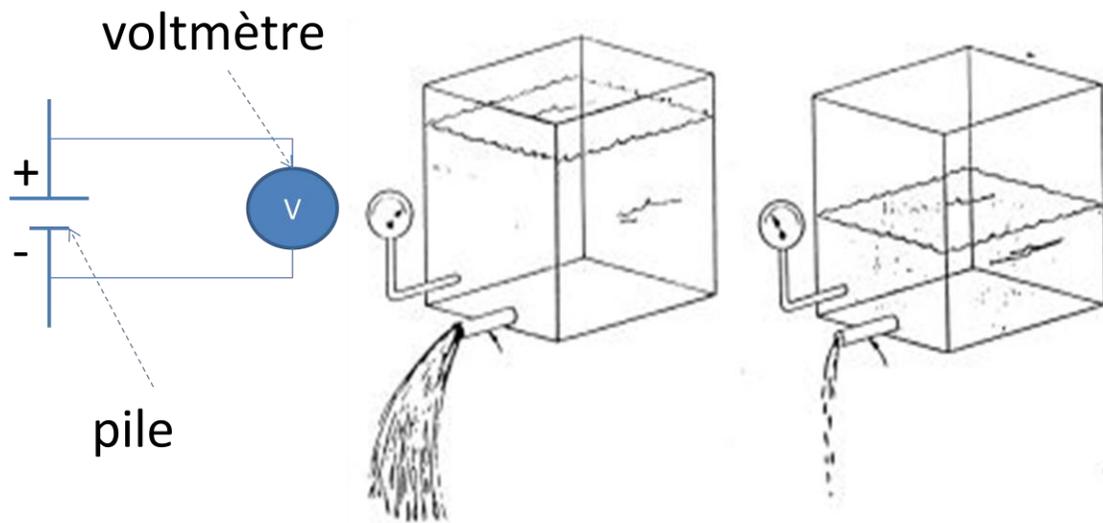


Figure 19 : La tension et la pression

D'une part, on a une pression élevée avec un réservoir plein et le jet d'eau va loin. De même, la tension est plus élevée lorsque la pile contient le maximum de charges électriques.

D'autre part, on a une pression plus basse avec le réservoir de droite qui est moins remplie; alors le jet d'eau va beaucoup moins loin. Il en va de même avec une pile moins chargée, la tension entre ses bornes est plus faible.

Le tableau 1 de la page suivante montre différentes piles avec leur tension que l'on devrait mesurer entre leurs électrodes. On y retrouve également la quantité de charges électriques lorsque la pile est neuve. Vous remarquerez que plus on a une grosse pile, plus elle contient un grand nombre de charges électriques.

L'électrochimie

Tableau 1 : Tableau des piles électriques

Image	Type	Tension	Charge
	AAA	1,5 V	4500 C
	AA	1,5 V	10 260 C
	C	1,5 V	30 060 C
	D	1,5 V	73 800 C
	E	9 V	4320 C

Comment se fait-il que l'on ait une même tension avec des piles plus grosses?

L'électrochimie

Pour répondre à cette question, on doit revenir à la comparaison avec un réservoir de liquide que nous avons à la figure 19. Si on augmente la surface du réservoir, on va pouvoir y entrer un plus grand volume d'eau mais la pression restera la même lorsqu'il sera plein. En effet, la pression dépend de la hauteur du réservoir et non de son volume. Il en va de même avec une pile électrique.

On voit cependant que la pile de 9 V contient moins de charges électriques. Une hypothèse veut que l'énergie contenue dans une pile soit le produit de la tension par la quantité de charges électriques. De plus, le physicien anglais James Prescott Joule (1818-1889) a mené des expériences sur l'énergie. On a donc donné le nom de joule à l'unité d'énergie que l'on représente par J, 1 J est égal à 1V multiplié par 1 C.

Revenons à notre tableau pour découvrir qu'une pile D neuve contient : $1,5 \text{ V} \times 73\,800 \text{ C} = 110\,700 \text{ J}$. Cependant, une pile E neuve contient plutôt : $9 \text{ V} \times 4320 \text{ C} = 38\,880 \text{ J}$. Donc, une pile E contient moins d'énergie qu'une pile D.

Maintenant, étudions les batteries. Si une batterie se compose de deux piles, nous devrions avoir deux fois plus d'énergie que dans une seule pile. Est-ce qu'on augmente la tension ou la quantité de charges électriques? Afin de répondre à cette question, regardons un peu les schémas de la figure 20 de la page suivante.

L'électrochimie

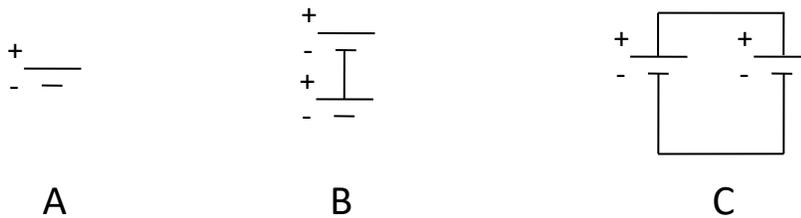


Figure 20 : La pile et les batteries

Le schéma A représente une pile avec une électrode positive et une électrode négative. Dans le schéma B, on a plutôt une batterie formé de deux piles connectées en série; alors, l'électrode négative de l'une des piles est reliée par un fil à l'électrode positive de l'autre pile. Enfin, le schéma C montre une batterie composée de deux piles connectées en parallèle; comme on peut le voir, un fil relie les électrodes positives des piles et un autre fil, les électrodes négatives.

Le physicien Volta émit l'hypothèse que la tension aux bornes d'une batterie est la somme des tensions des piles lorsque celles-ci sont connectées en série alors qu'on additionne plutôt les charges électriques lorsqu'elles sont connectées en parallèle. Dans les deux cas, on double l'énergie pour une seule pile.

L'expérimentation

Avant de débiter l'expérimentation, on se doit d'expliquer l'instrument de mesure pour la tension que nous nommons le voltmètre.

L'électrochimie



Figure 21 : Le voltmètre

Le voltmètre numérique possède un affichage numérique. En optant pour l'échelle de 0 à 10 V, on obtient une lecture en V avec des dixièmes ou des centièmes de volt. De plus, nous avons un fil rouge et un fil noir pour le brancher aux bornes d'une pile ou d'une batterie; le fil rouge doit être relié au positif (+) et le fil noir, au négatif (-).

- ***La démonstration avec le citron***

Le physicien Alessandro Volta fit une expérience avec un citron pour démontrer comment réaliser une pile électrique. En effet, un citron contient de l'acide et par définition, un liquide acide contient des charges électriques positives.

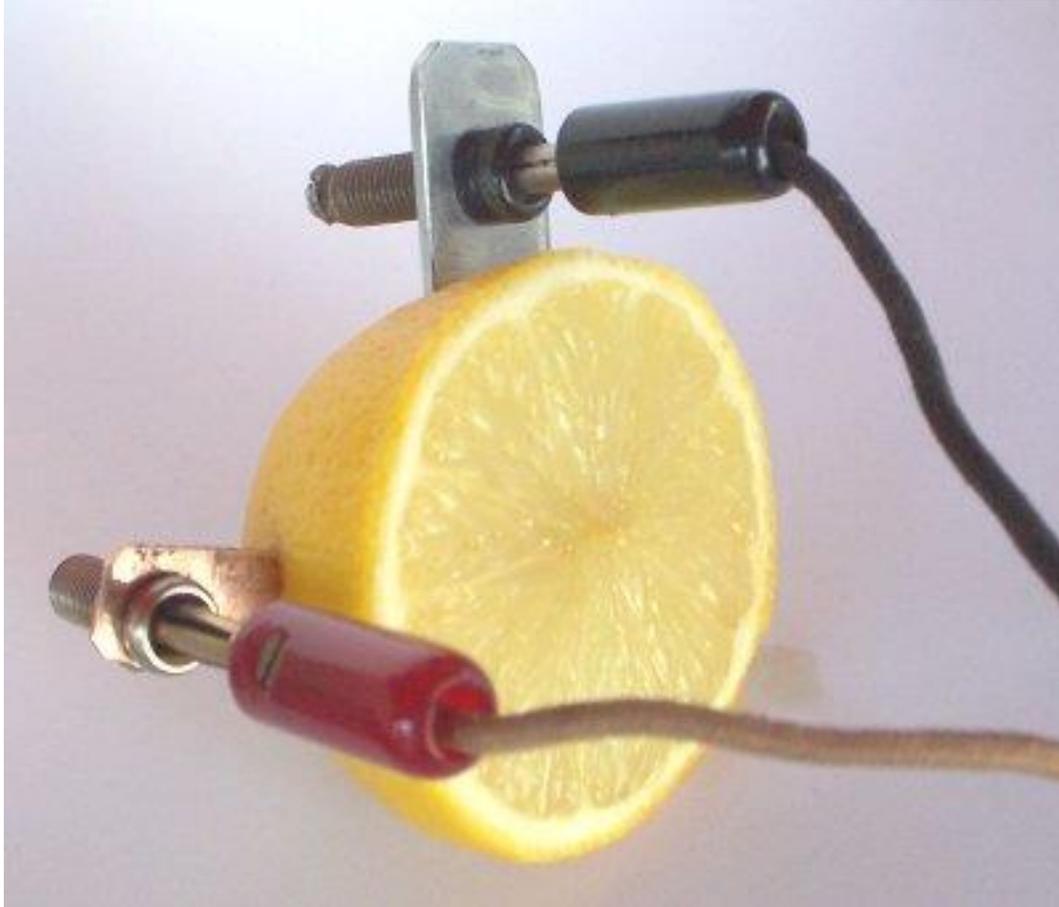


Figure 22 : Le citron comme une pile électrique

On plante dans une moitié de citron des électrodes de nature différente pour qu'il y ait une réaction électrochimique. Avec d'une part une électrode en cuivre et d'autre part, une électrode en zinc, nous devrions mesurer une tension d'environ 1 V.

On peut prendre comme électrode, une pièce d'un dollar canadien et un bout de ruban de métal perforé. Notons la mesure en volts.

Maintenant, réalisons une batterie avec l'autre moitié du citron. Pour ce faire, connectons un fil entre l'électrode perforée d'un

L'électrochimie

demi-citron et la pièce d'un dollar entrée dans l'autre demi-citron. Nous avons alors une connexion en série. En mesurant la tension entre les bornes de la batterie formée par les deux moitiés de citron nous devrions enregistrer une valeur deux fois plus grande que pour une seule moitié de citron.

Mais alors, pourquoi ne pas utiliser des citrons comme piles? Tout simplement parce que les citrons ne contiennent pas beaucoup de charges électriques et par conséquent, pas beaucoup d'énergie non plus.

- ***L'expérience avec une batterie à deux piles D en série***

- *L'observation*

On observe souvent un montage en séries de deux piles dans les appareils électroniques portables.

- *L'hypothèse*

Selon le tableau 1, nous devrions mesurer une tension de 1,5 volt entre les bornes d'une pile D. De plus, l'hypothèse de Volta devrait nous donner une mesure de 3 volts entre deux piles D connectées en série.

- *L'expérimentation*

Matériel :

- 1 voltmètre avec deux fils de mesure
- 2 piles D
- 2 porte-piles

Manipulations :

- Insérez une pile D dans un porte-pile

L'électrochimie

- Mesurez la tension entre les bornes positive (+) et négative (-). Notez le résultat dans le tableau des résultats.
- Insérez l'autre pile dans l'autre porte-pile. Assemblez les porte-piles de manière que les piles soient en série.
- Mesurez la tension entre les bornes positive (+) et négative (-) de la batterie. Notez le résultat dans le tableau ci-dessous.

Tableau des résultats :

	Hypothèse	Mesure
Pile D	1,5 V	
Batterie	3 V	

➤ *Conclusion*

En comparant la mesure du tableau des résultats pour une pile D avec l'hypothèse, on devrait conclure si la pile possède encore suffisamment de charges électriques ou non. Cependant, en comparant la mesure pour une batterie avec l'hypothèse, on conclut sur la validité de l'hypothèse de Volta, à savoir que les tensions s'additionnent lorsque les piles sont connectées en série.

Conclusion sur l'électrochimie

Avec la démonstration du citron et l'expérience de la batterie avec piles D, on devrait confirmer l'hypothèse de Volta, à savoir que l'on additionne les tensions aux bornes de chacune des piles pour obtenir la tension aux bornes de la batterie. Une tension plus élevée donne une force électrique plus forte.

L'électrochimie

Toutefois, il y a un autre volet de l'hypothèse de Volta que nous n'avons pas démontré, soit la mise en parallèle des piles qui augmente la quantité de charges électriques emmagasinées dans la batterie. On peut tester ce dernier volet de l'hypothèse de Volta en connectant une seule pile neuve pour illuminer une petite lampe de poche, on note le temps que cela prend avant que la lampe s'éteigne. Par la suite, on répète l'expérience mais en connectant deux piles neuves du même type connectées en parallèle.

Quelle devrait être selon vous la durée de fonctionnement par rapport à précédemment?

Ainsi, on construit des batteries qui ont plus de charges en connectant plusieurs piles en parallèle et des batteries qui ont plus de tension en connectant les piles en série. Dans les deux cas, on augmente l'énergie emmagasinée.

Dans la pratique, on retrouve aussi des piles rechargeables et donc, des batteries rechargeables. Par exemple, on retrouve une batterie de 12 volts dans une auto pour démarrer le moteur. Une fois, le moteur en marche on a un alternateur qui génère de l'électricité pour recharger la batterie.



Figure 23 : La batterie de 12 V

Avec les gaz à effets de serres générés par les moteurs à essence des automobiles, on voit apparaître depuis quelque temps la voiture électrique. Toute l'énergie nécessaire au déplacement et au fonctionnement du véhicule est emmagasinée dans la batterie. D'ailleurs, la batterie d'une telle auto utilise le lithium et contient 192 piles rechargeables. On localise une telle batterie sous les sièges, c'est-à-dire à l'endroit où l'on met normalement le réservoir d'essence.

De récentes recherches avec le vanadium permettent d'espérer avoir une batterie qui emmagasinera six fois plus d'énergie et où une auto électrique pourra parcourir 600 km avant une recharge. On a présentement des autobus scolaires électriques fonctionnant sur batteries qui sont fabriquées au Québec.



Figure 24 : La localisation de la batterie dans une auto électrique

On a progressé beaucoup en électrochimie depuis quelques années. La plupart des appareils électriques sont devenus portatifs grâce à des batteries performantes. Tout appareil électronique portable fonctionne aussi avec une batterie. Que ce soit avec l'appareil photo, le téléphone cellulaire, la tablette électronique ou l'ordinateur portable, on se doit de recharger leur batterie fréquemment sans cela il n'y aura plus d'énergie.

Il n'est pas tout de pouvoir emmagasiner l'énergie électrique dans une batterie, on doit aussi pouvoir contrôler sa transformation en un autre type d'énergie. Alors, la batterie devient la source d'énergie pour un circuit électrique. C'est ce que nous allons étudier dans le prochain chapitre avec l'électrocinétique.

Chapitre 3 : L'électrocinétique

L'électro ciné ...QUOI? Sommes-nous au cinéma? Non, mais comme le cinéma représente des images en mouvement, l'électrocinétique s'intéresse aux charges électriques en mouvement. Or, lorsqu'on parle de charges électriques en mouvement, on parle aussi de courant électrique.

Pouvons-nous voir un courant électrique?

Non, mais quand on voit un éclair durant un orage électrique, on voit l'effet de ce courant!

L'observation

On ne perçoit pas directement l'énergie électrique puisqu'on ne voit pas les charges électriques dans une batterie! En revanche, on perçoit l'effet de l'énergie électrique quand on allume une lampe de poche, quand on utilise le téléphone cellulaire ou la tablette électronique ou encore, quand on emploie un outil électrique.

En effet, on peut : voir la lumière d'une lampe de poche, entendre le son ou la sonnerie d'un téléphone, voir et entendre la rotation d'une perceuse électrique.

L'hypothèse

On suppose que l'énergie lumineuse de la lampe de poche et l'énergie mécanique de la perceuse proviennent de leur batterie qui emmagasine l'énergie électrique. Par conséquent, il doit y avoir une circulation de charges dans un circuit électrique pour transformer l'énergie de la batterie en une autre forme d'énergie.

L'électrocinétique

Le physicien et mathématicien français André-Marie Ampère s'est justement intéressé à cette circulation de charges électriques dans un circuit.



Figure 25 : André-Marie Ampère qui vécut de 1775 à 1836

D'ailleurs, c'est en son honneur que l'on nomme l'unité de mesure du courant électrique, l'ampère; on note l'ampère par A. En fait, un ampère est la circulation d'une charge d'un coulomb par seconde dans un circuit électrique. Mais qu'est-ce qu'un circuit électrique?

Un circuit électrique doit toujours comprendre une source d'énergie électrique. Par exemple, une pile ou une batterie constitue une source d'énergie électrique. Mais le circuit électrique doit aussi comprendre un composant qui transforme l'énergie électrique en une autre forme d'énergie. Par exemple, une lampe transforme l'énergie électrique en énergie lumineuse. Nous avons aussi le moteur qui transforme l'énergie électrique en

L'électrocinétique

énergie mécanique. Des fils électriques relient le composant à la source comme le montre le schéma de la figure 26 ci-dessous. On a en plus installé un ampèremètre pour mesurer le courant dans le circuit.

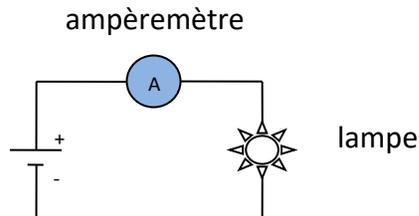


Figure 26 : Le courant dans un circuit électrique

Le courant électrique, c'est un peu comme le courant d'une rivière. Il va dans un sens, les électrons sont repoussés par la borne négative de la batterie et attirés par la borne positive. De même dans une rivière, l'eau circule du point le plus élevé vers le point le moins élevé selon la loi de la gravité.

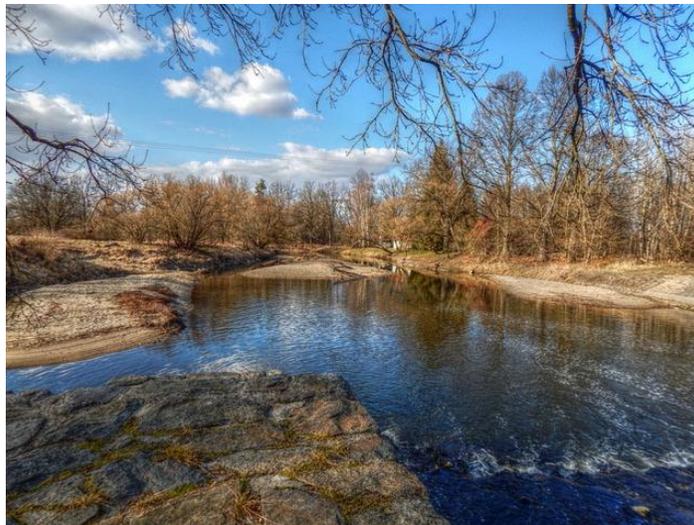


Figure 27 : Le courant d'une rivière

L'électrocinétique

Toutefois, pour mesurer un courant électrique, on doit avoir un circuit fermé; c'est-à-dire, que des fils conducteurs relient la source d'énergie (batterie ou pile) à un composant transformant l'énergie (lampe, moteur, etc). Le composant transformant l'énergie vient faire une résistance au passage du courant un peu comme un barrage sur une rivière.



Figure 28 : Le barrage

Attention! On ne doit jamais avoir un chemin du courant sans résistance dans un circuit électrique comme dans le schéma ci-dessous.

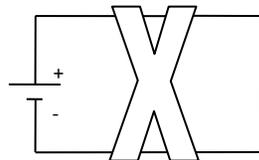


Figure 29 : Le court-circuit

L'électrocinétique

En effet, un court-circuit dissiperait l'énergie de la pile dans le fil électrique et cela provoquerait un apport de chaleur important tout en déchargeant complètement la pile.

Donc, nous avons comme hypothèse que le courant représente le transfert d'énergie entre la source et le composant. Plus la résistance du composant est faible, plus grand est le courant et vice-versa. De plus, en connectant plusieurs composants en parallèles, on augmente le transfert d'énergie et de ce fait, on augmente aussi le courant.

L'expérimentation

Pour mesurer le courant, on a recours à un ampèremètre que l'on doit brancher de manière que le courant circule dans l'appareil.



Figure 30 : L'ampèremètre

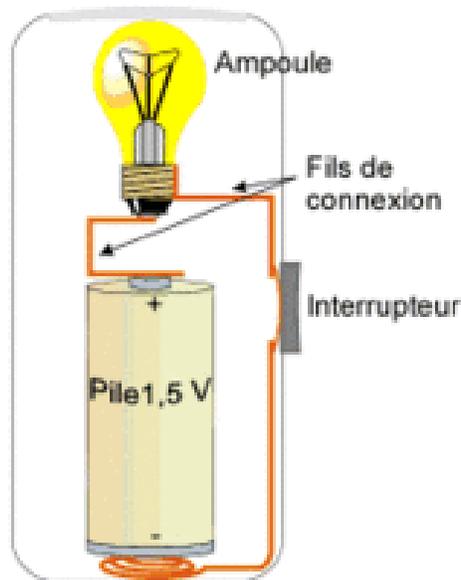
Aujourd'hui, on a recours à un instrument à affichage numérique mais le principe demeure le même. L'instrument fait partie prenante du circuit.

L'électrocinétique

Un autre dispositif utilisé pour contrôler le transfert d'énergie est l'interrupteur qui ouvre ou ferme le circuit. Voyons maintenant avec une démonstration et des expériences comment on peut confirmer notre hypothèse.

- **Démonstration avec une lampe électrique**

Nous avons à la figure 31, ci-dessous, un schéma d'une lampe de poche. Une pile avec une tension de 1,5 V sert de source d'énergie au circuit. Le pôle positif de la pile est connecté à la lampe. L'autre borne de la lampe est reliée à un interrupteur. Nous avons finalement un fil qui connecte l'autre côté de l'interrupteur au pôle négatif de la pile.



La composition
d'une lampe de poche

Figure 31 : La lampe électrique

L'électrocinétique

En actionnant l'interrupteur, le circuit se ferme et la lampe devrait allumer. À l'inverse, en ramenant l'interrupteur à sa position initiale on ouvre le circuit et la lampe devrait éteindre.

- *Les expériences*

Nous allons maintenant réaliser plusieurs expériences pour démontrer que la valeur du courant électrique indique la quantité d'énergie transférée. Toutes les expériences utilisent une batterie composée de deux piles D montées en série. Nous avons également un interrupteur pour ouvrir et fermer le circuit.

- *L'expérience avec une lampe à haute résistance*

- *L'observation*

On n'observe parfois qu'une faible lueur chez certaines lampes.

- *L'hypothèse*

On devrait mesurer un faible courant pour une lampe qui ne donne qu'une faible lueur.

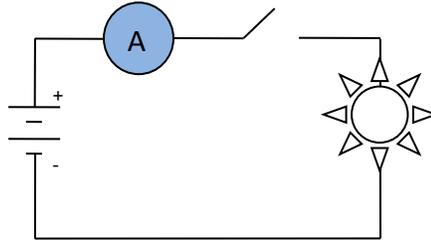
- *L'expérimentation*

Matériel

- 1 batterie avec 2 piles D en série
- 1 voltmètre
- 1 ampèremètre
- 1 interrupteur
- 1 lampe à haute résistance
- 4 fils avec pinces alligators

L'électrocinétique

Schéma



Manipulations

- Vérifiez la tension aux bornes de la batterie à l'aide du voltmètre. Quelle devrait être la tension pour une batterie formée de deux piles D en série? Si la tension est trop faible, on vérifie chaque pile et on les remplace au besoin.
- Connectez un fil rouge entre le pôle positif de la batterie et la borne rouge de l'ampèremètre.
- Connectez un fil vert entre la borne noire de l'ampèremètre et le côté de l'interrupteur avec la partie mobile. L'interrupteur devrait être dans la position ouvert.
- Connectez un fil jaune entre l'autre côté de l'interrupteur et l'une des bornes de la lampe.
- Connectez un fil noir entre l'autre borne de la lampe et le pôle négatif de la batterie. Vérifiez pour qu'il n'y ait pas de court-circuit.
- À l'aide de l'interrupteur, fermez le circuit et mesurez le courant. Notez la donnée dans le tableau des résultats et évaluez l'état de la lueur.

L'électrocinétique

Tableau des résultats

Lueur de la lampe		Courant	
Hypothèse	Réel	Hypothèse	Mesure

➤ Conclusion

Dites si les résultats viennent confirmer l'hypothèse. À noter qu'il est parfois difficile de percevoir une faible lueur surtout si la batterie est faiblement chargée.

○ L'expérience avec une lampe à résistance moyenne

➤ L'observation

Souvent, une lampe illumine son environnement pour remplacer une bougie.

➤ L'hypothèse

On se pose la question suivante par rapport à l'expérience précédente : « Le courant doit-il être plus fort (\uparrow), plus faible (\downarrow) ou rester le même (\approx) » ?

➤ L'expérimentation

Le matériel reste le même qu'avec l'expérience précédente excepté qu'on ajoute une lampe à résistance moyenne. Le schéma et le montage sont également identiques à l'expérience précédente.

Manipulation

- Remplacez la lampe à haute résistance par la lampe à résistance moyenne.

L'électrocinétique

- À l'aide de l'interrupteur, fermez le circuit et mesurez le courant. Notez la donnée dans le tableau des résultats et évaluez l'état de la lueur.

Tableau des résultats

Lueur de la lampe		Courant		
Hypothèse	Réel	Hypothèse	Mesure	Exp. préc.

➤ Conclusion

On vérifie l'hypothèse pour le courant en comparant la mesure avec celle pour l'expérience précédente. Une hypothèse \uparrow doit entraîner une mesure plus grande alors qu'une hypothèse \downarrow doit résulter en une mesure plus petite. La mesure reste approximativement la même pour une hypothèse \approx .

○ L'expérience avec deux lampes de résistance moyenne en parallèle

➤ L'observation

Certaines lampes contiennent plusieurs ampoules pour augmenter l'éclairage.

➤ L'hypothèse

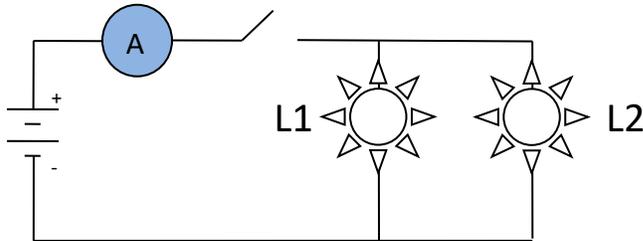
En connectant les lampes en parallèle, c'est comme si on avait deux circuits superposés avec la même source ou batterie. On devrait donc avoir deux fois plus de lumière. Quel devrait être le courant par rapport à l'expérience précédente?

L'électrocinétique

➤ L'expérimentation

Le matériel reste le même qu'avec l'expérience précédente excepté qu'on ajoute une lampe à résistance moyenne de plus.

Schéma :



Manipulations

- Connectez la nouvelle lampe en parallèle avec la précédente en vous référant au schéma ci-dessus.
- À l'aide de l'interrupteur, fermez le circuit et mesurez le courant. Notez la donnée dans le tableau des résultats suivant.

Tableau des résultats

Lueurs des lampes		Courant		
L1	L2	Hypothèse	Mesure	Exp. préc.

➤ Conclusion

Est-ce que les deux lampes devraient avoir la même lueur?

Est-ce que votre hypothèse pour le courant se confirme?

Qu'arriverait-il si on ajoutait une troisième lampe de résistance moyenne en parallèle?

Conclusion sur l'électrocinétique

La démonstration et les expériences devraient nous amener à confirmer l'hypothèse que le courant dans un circuit est en proportion de l'énergie transférée par la source vers le composant de transformation. À noter que nous devrions toujours mesurer un courant nul pour un circuit ouvert.

Le physicien allemand Gustav Kirchoff (1824 – 1887) énonça la loi suivante pour un nœud dans un circuit.

La somme des courants entrant dans un nœud est égale à la somme des courants qui en sort.

Le schéma de la figure 32, ci-dessous, illustre le nœud dans un circuit parallèle.

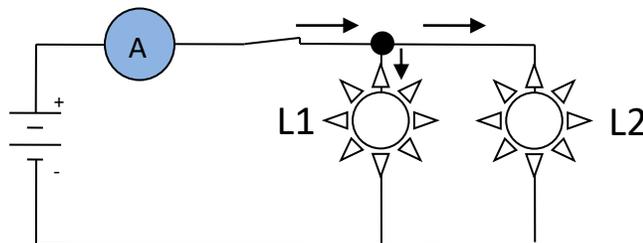


Figure 32 : La loi des courants de Kirchoff

En fermant le circuit avec l'interrupteur, on a le courant mesuré qui est égal à la somme des courants circulant dans chacune des lampes. Si les lampes ont la même résistance, alors le courant entrant dans le nœud devrait être deux fois plus élevé que celui circulant dans une seule d'entre elles.

Quelle différence y a-t-il entre l'intensité du courant en ampères et la tension en volts?

Montrons cette différence en comparant le circuit électrique à une chute d'eau.



Figure 33 : La tension et le courant

On associe la hauteur de la chute à l'énergie potentielle qui se transforme en énergie cinétique par le courant de l'eau. En électricité, la batterie emmagasine une énergie potentielle qui se transforme en énergie cinétique lors de la fermeture du circuit. Or, le courant peut aussi transformer cette énergie cinétique électrique en une énergie mécanique grâce aux lois de l'électromagnétisme.

Chapitre 4 : L'électromagnétisme

On connaît peut-être le magnétisme mais qu'est-ce que l'électromagnétisme et à quoi cela peut-il servir? Voilà des questions que nous allons maintenant étudier.

L'observation

On a tous vu comment des aimants peuvent maintenir une feuille de papier sur la porte du réfrigérateur! Peut-être avons-nous aussi utilisé une boussole lors d'une expédition en forêt?



Figure 34 : La boussole

L'aiguille de la boussole s'oriente toujours vers le pôle nord terrestre.

Bref, on associe généralement le magnétisme à l'attraction entre deux objets. Pourtant nous avons déjà vu avec la loi de Coulomb qu'il y a aussi attraction entre des charges électriques de polarité différente.

Or, la force d'attraction magnétique se distingue de la force d'attraction électrique.

En effet, avec le magnétisme, nous avons des pôles nord et sud tandis que nous avons plutôt des polarités positive (+) et négative (-) avec l'électrostatique.

L'hypothèse

Le magnétisme existe à l'état naturel. En effet, on retrouve des matériaux qui sont déjà aimantés. D'ailleurs, nous appelons un aimant permanent l'objet qui possède un pôle nord et un pôle sud comme l'illustre la figure 35 ci-dessous.



Figure 35 : Les aimants permanents

Peu importe la forme de l'aimant, nous retrouvons toujours un côté avec un pôle nord et un côté avec un pôle sud. Ceci nous amène à formuler une première hypothèse.

Les pôles contraires s'attirent alors que les pôles identiques se repoussent.

Comme l'illustre le schéma de la figure 36, de la page suivante, le pôle nord d'un aimant est attiré par le pôle sud de l'autre aimant alors que les pôles sud se repoussent.

L'électromagnétisme

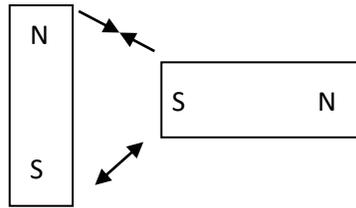


Figure 36 : L'attraction et la répulsion magnétique

Mais alors, quel est le pôle de la pointe de l'aiguille d'une boussole?

De plus les métaux ferreux sont attirés par un aimant. Que l'on pense aux aimants sur la porte de notre frigo! Comment expliquer cette attraction?

Nous disons qu'un champ magnétique est créé autour d'un aimant. Nous représentons ce champ par des lignes comme le montre le schéma de la figure 37 ci-dessous.

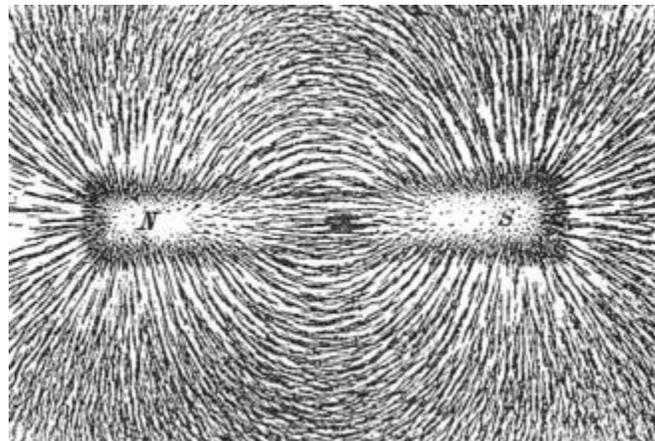


Figure 37 : Le champ magnétique

L'électromagnétisme

Or, en approchant cet aimant vers une paroi en fer ou en acier comme c'est le cas pour la porte du frigo, il y a attraction puisque le magnétisme circule plus facilement dans ce type de matériau que dans l'air.

Le physicien danois Oersted découvre l'interaction entre l'électricité et le magnétisme en 1820.

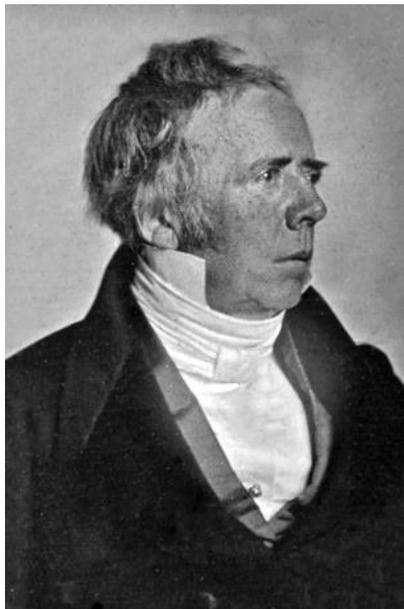


Figure 38 : Hans Christian Oersted qui vécut de 1777 à 1851

Plus spécifiquement, il découvre qu'un fil traversé par un courant électrique fait dévier l'aiguille d'une boussole. Ceci nous amène à la seconde hypothèse.

L'électromagnétisme

Un courant traversant une bobine de fil dans le sens de fermeture de quatre doigts de la main droite produit un champ magnétique dans la direction où pointe le pouce de cette même main.

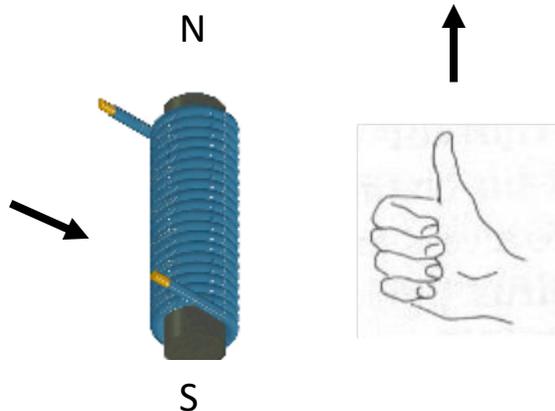


Figure 39 : La règle de la main droite

Ainsi est né l'électro-aimant. Le courant électrique produit un champ magnétique au même titre qu'un aimant permanent. Toutefois, avec l'électro-aimant, on contrôle le champ magnétique si on contrôle le courant dans le circuit de la bobine.

Avec un électro-aimant monté sur la partie mobile d'un moteur, on crée un champ magnétique qui produit la rotation. Comme le montre le schéma de la figure 40 à la page suivante, on a une explication en trois temps. Au temps 1, on a une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre due à l'attraction des pôles contraires. Il en va de même au temps 2. Cependant, au temps 3 on a inversé le sens de la pile alimentant l'électro-aimant de la

L'électromagnétisme

partie tournante pour produire la répulsion entre les pôles. Le moteur tourne toujours dans le même sens et cela continue.

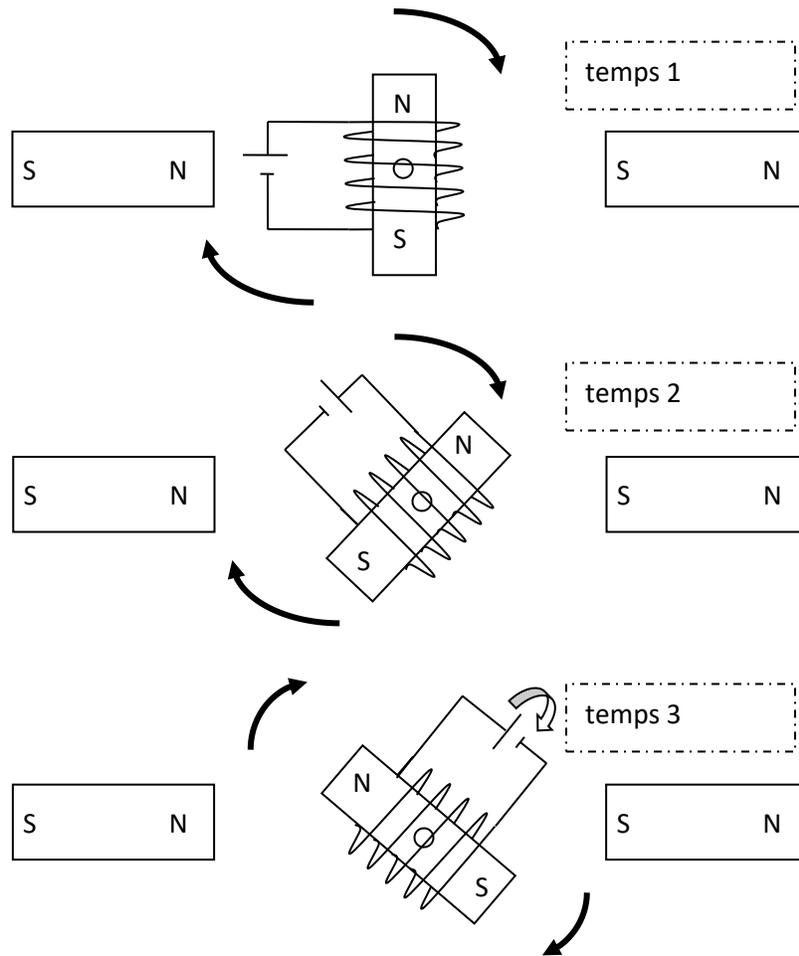


Figure 40 : Le moteur électrique

Revenons sur le temps 3, sans produire la commutation de courant pour inverser son sens dans l'électro-aimant de la partie tournante, il y aurait un seul déplacement de 90° . En effet, l'inversion des pôles dans l'électro-aimant engendré par l'inversion du courant entraîne une force de répulsion entre les

L'électromagnétisme

pôles nord des parties fixe et tournante ainsi qu'entre les pôles sud. À noter que la commutation pour inverser le sens du courant s'effectue automatiquement avec la rotation du moteur.

L'expérimentation

Nous venons de voir quelques hypothèses avec le magnétisme et l'électromagnétisme. Maintenant vérifions concrètement avec une démonstration et des expériences si ces hypothèses tiennent la route.

- *La démonstration*

On prend deux aimants et on montre que dans un sens, les aimants s'attirent et que dans l'autre ils se repoussent.

- *Les expériences*

Voyons maintenant avec diverses expériences comment on vérifie les hypothèses énoncées plus tôt.

- *L'expérience avec de la limaille de fer*

- *Observation*

On observe que les objets métalliques ou en fer sont attirés plus facilement par les aimants.

- *Hypothèse*

Le champ magnétique autour d'un aimant épouse la forme montrée par la figure 37.

- *Expérimentation*

Matériel :

- Aimant permanent de forme rectangulaire
- Boussole

L'électromagnétisme

- Feuille de papier
- Limaille de fer

Manipulations :

- Déposez de la limaille de fer sur une feuille de papier.
- Amenez l'aimant sous la feuille
- Utilisez la boussole pour identifier les pôles magnétiques de l'aimant (pôle nord et pôle sud).

➤ *Conclusion*

Est-ce que la forme que fait la limaille de fer sur la feuille de papier est la même que celle illustrée par la figure 37? Cette forme ne ressemble-t-elle pas à la forme du champ magnétique terrestre?

○ *L'expérience avec des trombones*

➤ *Observation*

Dans une cour de ferraille, on utilise une grue avec un électro-aimant pour soulever la carcasse des vieilles voitures.

➤ *Hypothèse*

L'électro-aimant tout comme l'aimant permanent attire des pièces de métal ferreux comme des trombones (expérience d'Oersted).

➤ *Expérimentation*

Matériel :

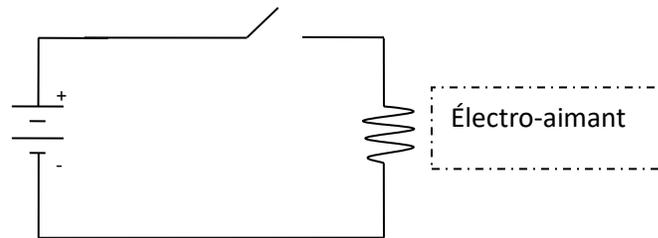
- Aimant permanent

L'électromagnétisme

- Électro-aimant (fil enroulé autour d'un écrou)
- Batterie de 3 volts (2 piles D)
- Interrupteur
- 3 fils avec pince alligator
- Trombones
- Boussole

Manipulations :

- Approchez l'aimant permanent des trombones et soulevez-le. Comptez le nombre de trombones qui restent accrochés.
- Montez l'électro-aimant dans le circuit illustré par le schéma ci-dessous.



- Approchez l'électro-aimant des trombones et avec l'interrupteur, fermez le circuit. Soulevez-le et notez combien de trombones restent accrochés. Identifiez les pôles de l'électro-aimant en vous aidant de la boussole. Ouvrez le circuit quand vous avez terminé.

➤ Conclusion

Notez vos résultats dans le tableau ci-dessous.

	Aimant	Électro-aimant
Trombones accrochés		

L'électromagnétisme

Est-ce que l'hypothèse est confirmée?

○ *L'expérience du moteur électrique*

➤ *Observation*

De nos jours, on utilise beaucoup la perceuse électrique sans fil. Non seulement, on l'utilise pour percer des trous mais aussi pour visser et bien entendu, dévisser.

➤ *Hypothèse*

Un moteur électrique fonctionne selon le schéma montré à la figure 40. En actionnant l'interrupteur pour fermer le circuit de l'électro-aimant, on met en marche le moteur. Celui-ci tourne dans le sens horaire ou antihoraire. En inversant le sens du courant circulant dans l'électro-aimant on produit l'inversion du sens de rotation.

➤ *Expérimentation*

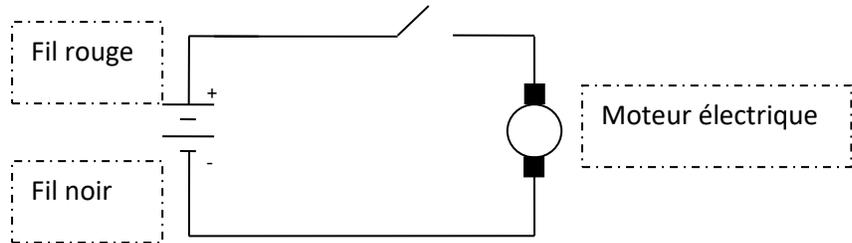
Matériel :

- Batterie de 3 volts
- Interrupteur
- 3 fils avec pince alligator
- Moteur électrique couplé à un éventail

Manipulations :

- Montez le circuit tel que décrit dans le schéma ci-dessous.

L'électromagnétisme



- Actionnez l'interrupteur pour fermer le circuit et notez le sens de rotation du moteur.
- Ouvrez le circuit. Inversez le sens du courant en reliant le fil rouge à la borne négative et le fil noir à la borne positive.
- Fermez le circuit et notez le sens de rotation du moteur. Ouvrez le circuit.

➤ Conclusion

Complétez le tableau ci-dessous.

Courant	Rotation
Direct	
Inverse	

Est-ce que les résultats confirment l'hypothèse?

Conclusion sur l'électromagnétisme

L'électromagnétisme permet de transformer une énergie électrique en une énergie mécanique. Mais qu'est-ce qu'une énergie mécanique? Nous appelons souvent l'énergie mécanique le travail. Elle produit la force nécessaire pour déplacer un objet sur une certaine distance.

Quand on soulève une pièce de métal ferreux avec un électro-aimant on vient vaincre la force de gravité en produisant une

L'électromagnétisme

force mécanique plus grande mais dans le sens opposé. Il en va de même lorsqu'on met en action un moteur électrique.

Mais si l'électromagnétisme permet de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique, l'inverse est-il vrai?

Jusqu'à maintenant, nous avons toujours considéré l'énergie électrique comme étant emmagasinée dans une batterie. En pratique, la plupart des appareils électriques fonctionnent quand on les branche dans une prise de courant. Alors, l'énergie nous provient d'un réseau de distribution électrique où l'on transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique.

C'est ainsi que nous allons voir dans le prochain chapitre, portant sur l'électrodynamique, pourquoi le courant électrique provenant d'une prise de courant a une forme alternative. En effet, au Québec le courant provenant d'Hydro-Québec change de sens à 60 fois par seconde. C'est la raison pourquoi on dit qu'il s'agit d'un courant alternatif.

Chapitre 5 : L'électrodynamique

En janvier 1998, une bonne partie de la population du Québec a été plongée dans le noir sans électricité plusieurs jours consécutifs à la suite d'une tempête de verglas. C'est ce qu'on a appelé la crise du verglas!

L'observation

Tout près de chez soi, on observe des poteaux comme illustré à la figure 41 ci-dessous.



Figure 41 : Le transformateur local (source : Hydro-Québec)

L'objet gris dans le poteau représente un transformateur pour abaisser la tension. Dans les grandes localités, on retrouve un poste de distribution comme on peut le voir avec l'image de la figure 42 à la page suivante.

L'électrodynamique



Figure 42 : Le poste de distribution

Si on parcourt les campagnes du Québec, on voit des pylônes comme l'image de la figure 43 ci-dessous.



Figure 43 : Les pylônes électriques (source : Hydro-Québec)

L'électrodynamique

Et enfin, on retrouve surtout dans le nord du Québec des barrages sur des rivières pour produire de l'électricité comme le montre l'image ci-dessous.



Figure 44 : Le barrage (source : Hydro-Québec)

Tous ces équipements font partie du réseau électrique et nous assurent de toujours avoir de l'énergie électrique à la maison.

L'hypothèse

Partons de la source pour mieux expliquer le fonctionnement de ce réseau électrique. Au bas du barrage, nous avons des groupes de turbine-alternateur comme montré ci-dessous.



Figure 45 : La turbine-alternateur (source : Hydro-Québec)

L'électrodynamique

Alors, une conduite vient forcer l'eau sous pression à produire la rotation d'une turbine. Cette même turbine est couplée à un alternateur qui génère de l'électricité.

Mais comment fait-on pour générer de l'électricité?

Voyons un peu la réponse du physicien anglais Michael Faraday.

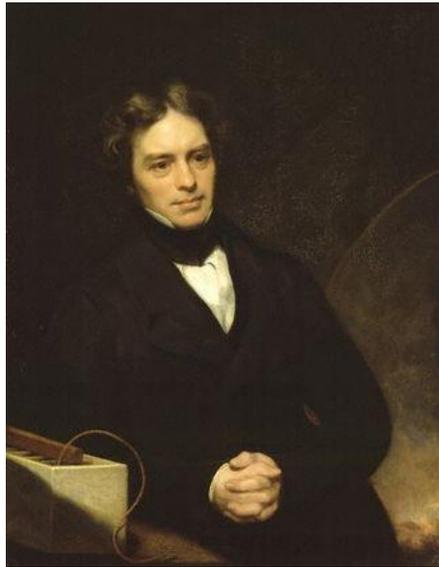


Figure 46 : Michael Faraday vécut de 1791 à 1867

En 1831, il découvre l'induction électromagnétique.

Un circuit électrique soumis à un champ magnétique variable est le siège d'une force électromotrice aussi appelée tension électrique.

L'électrodynamique

Cela constitue le principe de l'alternateur comme le montre le schéma ci-dessous.

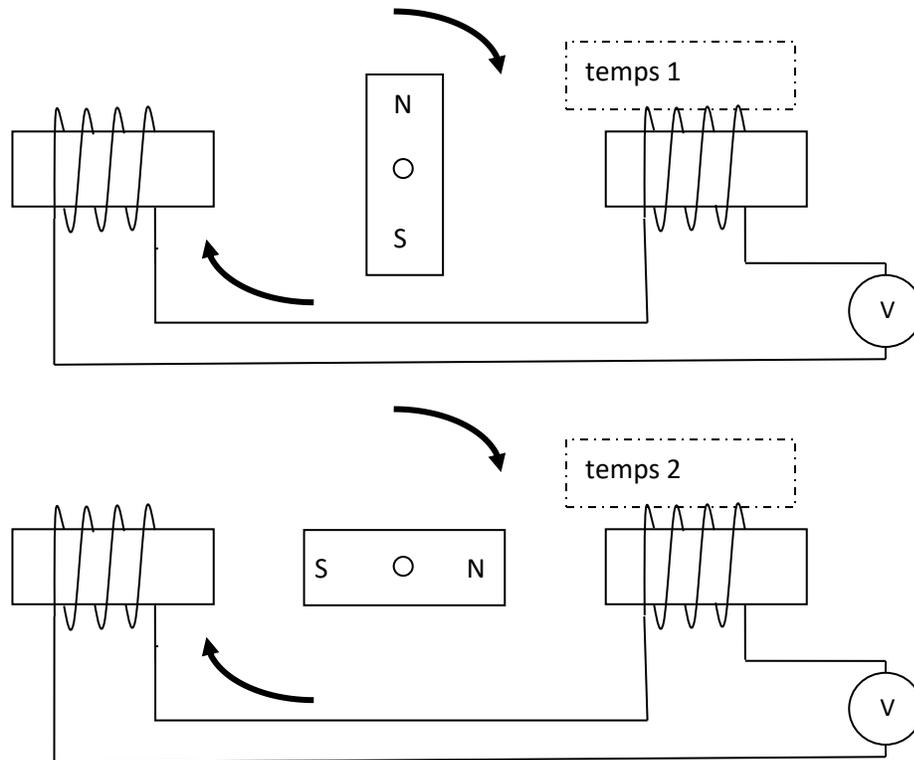


Figure 47 : L'alternateur

L'aimant permanent est désormais situé dans la partie tournante alors que nous avons des électro-aimants dans la partie fixe. Au temps 1, le champ magnétique qui embrasse l'électro-aimant est minimum alors qu'il est au maximum au temps 2. C'est cette variation du champ magnétique qui génère, selon la loi de Faraday, une tension de la forme que l'on retrouve au graphique de la figure 48 à la page suivante.

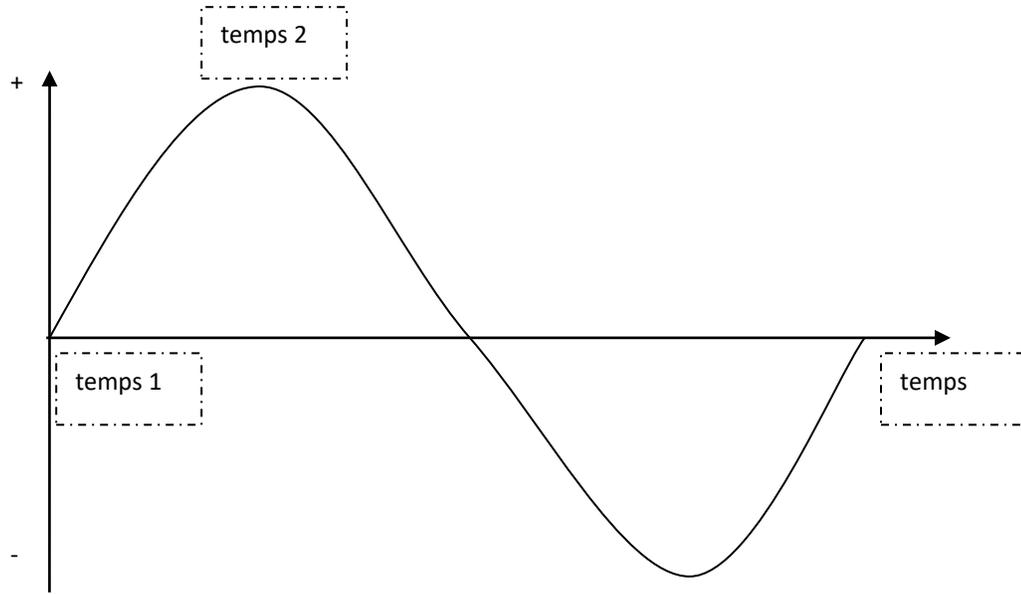


Figure 48 : Le courant alternatif

Si la tension V générée par l'alternateur devient la source d'un circuit électrique, alors le courant est alternatif comme illustré ci-dessus. C'est un peu comme si la source change de polarité à 60 fois par seconde au Québec. Nous disons que nous avons une fréquence de 60 Hertz.

Donc, grâce à l'alternateur nous avons la transformation de l'énergie mécanique arrivant à la turbine en énergie électrique. Mais auparavant, voyons un peu la notion de puissance.

La puissance est la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. La puissance correspond donc à un débit d'énergie ou représente la vitesse à laquelle se transforme l'énergie.

L'électrodynamique

L'unité de mesure pour la puissance est le watt, W, en l'honneur de l'ingénieur écossais James Watt.



Figure 49 : James Watt qui vécut de 1736 à 1819

En électricité, la puissance est égale au produit de la tension par le courant. Encore selon la loi de Faraday, on a développé le transformateur qui permet d'élever ou d'abaisser la tension d'une ligne électrique.

Ainsi, pour diminuer la dimension des fils électriques on élève la tension à 735 000 volts pour transporter l'électricité avec des lignes supportées par des pylônes électriques. En effet, en élevant la tension, on abaisse le courant pour une même puissance.

Voilà ce qui s'est passé en janvier 1998 au Québec. Du verglas déposé sur les lignes de 735 000 volts a produit l'écrasement des

L'électrodynamique

pylônes et il a fallu reconstruire ces pylônes pendant quelques semaines avant de remettre le courant.

On retrouve dans le poste de distribution des transformateurs pour abaisser la tension à environ 25 000 volts. Le transformateur local situé dans un poteau près de chez soi rabaisse encore la tension à 120 volts et 240 volts de manière à pouvoir utiliser l'électricité dans nos résidences.

L'énergie électrique que nous consommons est mesurée en kilowattheures, kW-h, par le compteur dont nous voyons une image ci-dessous.

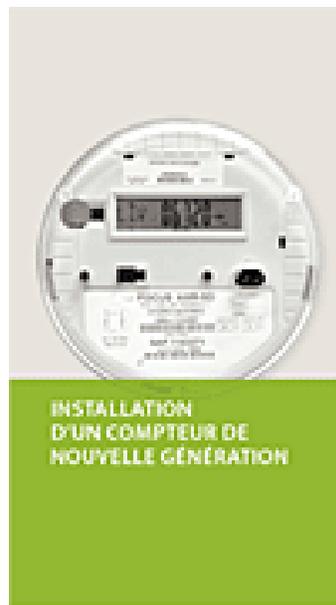


Figure 50 : Le compteur électrique

L'électrodynamique

Voilà! Le réseau électrique représente un ensemble d'équipements interconnectés entre eux par des lignes électriques. D'une part, nous avons les sources constituées de turbines-alternateurs situés au bas des barrages ou dans les mats d'éoliennes. D'autre part, les appareils électriques de nos maisons viennent faire les résistances où l'énergie électrique se transforme en une autre forme d'énergie : chauffage, éclairage, travail mécanique, etc.

L'expérimentation

Il est dangereux de toucher à des fils électriques sous une tension de 120 volts ou 240 volts que l'on retrouve dans nos résidences. Aussi, nous allons nous contenter de faire des démonstrations.

- *Démonstrations*

Voyons tout d'abord comment consomment les appareils domestiques. On retrouve sur les plaques signalétiques des appareils, la puissance nominale de consommation. Par la suite, nous allons regarder la capacité des circuits en termes de puissance. Et enfin, les prises de courant ont une forme différente selon les tensions de branchement.

- *La consommation des appareils domestiques*

Le tableau 2, ci-dessous, montre la puissance nominale pour les appareils que l'on utilise couramment.

Tableau 2 : Consommation énergétique

Appareil	Calculatrice	Lampe basse consommation	Réfrigérateur	Télévision	Radiateur électrique	Lave-linge
Puissance nominale (W)	0,000 1	15	150	100	1 300	2 500

Comme on le remarque, le radiateur électrique et la laveuse consomme beaucoup plus d'énergie. Il y a aussi la sècheuse et le four électrique qui consomme beaucoup d'énergie.

○ La capacité des circuits

Dans chaque résidence, on retrouve des circuits protégés par des disjoncteurs ou des fusibles. Le tableau 3, ci-dessous, montre la capacité sécuritaire de chaque circuit en fonction du courant maximum et de la tension.

Tableau 3 : La capacité des circuits

Ampère x Volt	Capacité totale	Capacité sécurité
15 A x 120 V	1800 W	1440 W
20 A x 120 V	2400 W	1920 W
25 A x 120 V	3000 W	2400 W
30 A x 120 V	3600 W	2880 W
20 A x 240 V	4800 W	3840 W
30 A x 240 V	7200 W	5760 W

En augmentant la tension de 120 à 240 V, on diminue le courant pour une plus grande puissance.

L'électrodynamique

○ Les prises de courant

La prise 120 volts que l'on retrouve à la figure 21 comprend deux fentes verticales et un demi-cercle pour la mise à la terre de l'appareil.



Figure 51 : la prise 120 volts

Quant à la prise de 240 volts que l'on retrouve à la figure 52, elle permet de brancher une sècheuse ou un poêle électrique.



Figure 52 : la prise 240 volts

○ Le choc électrique

On intervient avec précaution sur le réseau de distribution électrique puisqu'il est dangereux de s'électrocuter. D'ailleurs, comment pouvons-nous expliquer que des oiseaux puissent se tenir sur un fil à haute tension alors que cela est dangereux pour un humain?



Figure 53 : Les oiseaux et l'électricité

L'électrodynamique

Le choc électrique est causé par le passage du courant électrique dans notre corps. Ainsi, si nous touchons un point à une tension élevée, un courant circule dans notre corps pour aller vers la terre. Le choc est plus grand si nous sommes humides et moins grand si nous avons des souliers à semelles isolantes. Cependant, les oiseaux de la figure 53 ne touchent pas à la terre et aucun courant ne circule dans leur corps.

À haute tension, on n'a pas besoin de toucher au fil pour s'électrocuter, on peut s'électrocuter seulement en s'en approchant et l'issue est mortelle dans presque tous les cas.

Conclusion sur l'électrodynamique

Pour nous donner un ordre de grandeur, le réseau électrique de l'Hydro-Québec a une capacité de production de 46 000 MW ou 46 milliards de watts. Les barrages hydro-électriques produisent 99% de cette électricité, ce qui en fait une source d'énergie non polluante.

Au Québec, la consommation énergétique est beaucoup plus grande l'hiver à cause des besoins de chauffage. Ainsi, nous avons atteint une pointe de consommation de 42 000 MW récemment.

Conclusion

Comment comprendre l'électricité à l'aide de la méthode scientifique? Une question qui n'est pas simple quand on pense que l'on ne peut voir l'électricité, on ne voit que ses effets. Toutefois, la méthode scientifique avec la séquence observation – hypothèse – expérimentation – conclusion nous permet d'établir des vérités que nous nommons lois.

Mais comment vivaient les gens avant l'avènement de l'électricité au XIXe siècle? Avant les lampes électriques, on avait des lampes à l'huile. Il y avait des machines à vapeur fonctionnant au charbon mais pas de moteurs électriques. Le chauffage était au bois ou au charbon mais non électrique.

En fait, on a recours à l'électricité surtout pour transporter l'énergie d'un point à un autre. On utilise une énergie calorifique pour le chauffage mais le radiateur transforme l'électricité en chaleur. On a développé les industries au XXe siècle grâce à l'électricité.

Le défi du XXIe siècle sera d'utiliser une énergie qui n'émet pas de gaz à effets de serres. Dans les pays comme la Chine et les États-Unis, on produit de l'électricité en brûlant du charbon, ce qui entraîne beaucoup de gaz à effets de serres. Au Québec, notre production d'électricité est beaucoup plus saine pour l'environnement.

Or, ici notre source principale d'émission des gaz à effets de serres est le transport. Il est donc à prévoir que nous verrons dans

L'électrodynamique

un proche avenir des trains et tramways électriques comme celui illustré à la page couverture de cet ouvrage. D'ailleurs, on a déjà recours à ce moyen de transport en Europe et dans beaucoup de pays du monde.

Avec un moteur électrique utilisé dans un train ou un véhicule électrique, on a environ 90% de l'énergie électrique qui se transforme en énergie mécanique alors qu'avec le moteur à essence, il n'y a qu'environ 20% de l'énergie du pétrole qui se transforme en travail mécanique. Alors pourquoi ne pas utiliser l'électricité pour le transport?

En parlant de transport, nous voilà arrivés à destination de ce voyage d'étude sur l'électricité! Nous n'avons cependant pas abordé l'utilisation de l'électricité dans la transmission et le traitement de l'information, que l'on appelle communément l'électronique. Cela dépassait le cadre de cet ouvrage.

Table des matières

Chapitre 1 : L'électrostatique	7
L'observation	7
L'hypothèse	8
L'expérimentation	11
Conclusion sur l'électrostatique	22
Chapitre 2 : L'électrochimie	25
L'observation	25
L'hypothèse	25
L'expérimentation	31
Conclusion sur l'électrochimie	35
Chapitre 3 : L'électrocinétique.....	39
L'observation	39
L'hypothèse	39
L'expérimentation	43
Conclusion sur l'électrocinétique.....	50
Chapitre 4 : L'électromagnétisme	52
L'observation	52
L'hypothèse	53
L'expérimentation	58
Conclusion sur l'électromagnétisme.....	62

L'électrodynamique

Chapitre 5 : L'électrodynamique	64
L'observation	64
L'hypothèse	66
L'expérimentation	72
Conclusion sur l'électrodynamique.....	76