

# scienceinfuse

ANTENNE DE FORMATION ET DE PROMOTION DU SECTEUR SCIENCES & TECHNOLOGIES

DOSSIER  
ENSEIGNANT



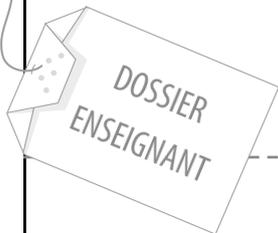
PHYSIQUE

## Electrostatique



**UCL**

Scienceinfuse • Antenne de formation et de promotion du secteur sciences & technologies  
rue des Wallons 72 L6.02.01 • 1348 Louvain-la-Neuve



## Table des Matières

1. Introduction	3
2. Matériel	5
3. Séquences d'apprentissage	
3.1. Manipulation 1 : Les matériaux électrisables	7
3.2. Manipulation 2 : Interaction entre objets électrisés	14
3.3. Manipulation 3 : Electrisé + ou - ?	23
3.4. Interprétation dans le modèle de Rutherford	25
3.5. Manipulation 4 : Isolants et conducteurs	27
3.6. Manipulation 5 : Identification de plastiques	34
3.7. Synthèse	35

# Introduction



Thalès de Milet  
(624-547 av. J.-C.)

Au VI<sup>ème</sup> siècle av. J.-C., les Grecs constatent fortuitement, en tentant d'enlever la poussière sur divers bibelots et bijoux, que plus ceux-ci sont frottés avec le tissu à épousseter, plus ils ont l'étrange propriété d'attirer la poussière ! En particulier, **Thalès de Milet** constate que ce phénomène est particulièrement important avec l'ambre, qui une fois frottée est capable d'attirer de nombreux corps légers : pour expliquer ce phénomène, il attribue à l'ambre une mystérieuse propriété qu'il nomme « électricité » (le mot grec *ηλεκτρον* – *electrôn* – signifiant simplement *ambre*).



William Gilbert  
(1544-1603)

Les siècles passent, et il faut attendre la fin des années 1500 pour que **William Gilbert**, physicien anglais, constate que certaines substances comme le soufre et la résine possèdent la même propriété que l'ambre, tandis que les métaux semblent ne pas pouvoir s'électriser. Il abordera alors une étude systématique pour tenter de classifier les matériaux électrisables ou non.



Otto von Guericke  
(1602-1686)

Au milieu du XVII<sup>ème</sup> siècle, le physicien allemand **Otto von Guericke** étudie à son tour les matériaux électrisables, et constate que certains corps électrisés se repoussent, tandis que d'autres peuvent s'attirer lorsqu'ils sont frottés. Il inventera par ailleurs la première machine électrostatique.



Jean-Antoine Nollet (1700-1770)  
Charles-François Du Fay (1698-1739)



Benjamin Franklin  
(1706-1790)

En France, **Du Fay** et **Nollet** effectuèrent des expériences semblables sur une quantité de matières, et conclurent en 1733 à l'existence de *deux types d'électricité* : l'une obtenue par exemple en frottant de l'ambre ou de la résine, que l'on appellera *électricité résineuse*, et l'autre apparaissant en frottant le verre, nommée *électricité vitreuse*. En 1746, **Franklin** postule qu'un de ces types d'électricité résulte d'un excès d'un certain fluide électrique, l'autre étant un défaut de ce fluide ; pour les distinguer, il attribue alors arbitrairement les qualificatifs de négatifs et de positifs aux corps présentant respectivement une électricité résineuse ou vitreuse.



Charles Augustin de Coulomb  
(1736 - 1806)

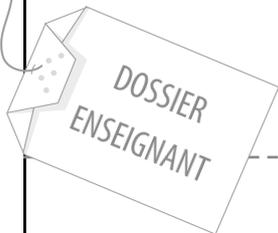
Jusqu'à cette époque, toutes les études sont purement qualitatives. La première révolution dans le domaine de l'électricité vient en 1785 avec le Français **Charles-Augustin de Coulomb** qui, pour la première fois, donne une mesure de ce mystérieux fluide électrique. A l'aide d'une ingénieuse balance de torsion, il déduit qu'entre deux corps qui s'attirent ou se repoussent sous l'action de l'électricité, on peut définir une grandeur mesurable : la *charge électrique* ; il déduit encore que cette force d'attraction ou de répulsion décroît comme l'inverse du carré de la distance séparant les objets chargés. Au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, Laplace, Poisson et Gauss termineront la mise en équation de ces résultats.



Joseph-John  
Thomson  
(1856-1940)

Le mystère autour du fluide électrique se dissipe en 1897 lorsque **J.-J. Thomson** découvre l'électron. Les travaux du Néo-Zélandais Ernest Rutherford conjugués à ceux du Danois Niels Bohr conduisent, en 1913, à la théorie orbitale de l'atome, selon laquelle ce dernier est constitué d'un noyau supposé fixe autour duquel gravitent des électrons sur des orbites bien définies. Si l'on admet que ces électrons peuvent éventuellement passer d'un atome à l'autre, alors l'électrisation d'un corps par frottement revient à lui arracher des électrons ou lui en céder, ce qui a pour conséquence respective de le charger positivement ou négativement. La distinction entre les matériaux que l'on peut ou non électriser s'explique également : ainsi ceux qui s'électrisent laissent peu les électrons circuler d'un atome à l'autre et les charges apportées ou enlevées restent localisées ; en revanche, d'autres matériaux comme les métaux laissent aisément les électrons se déplacer entre les atomes, et si on les tient en mains sans précaution particulière, un excès ou un défaut sera rapidement éliminé ou comblé par les électrons qui s'en iront alors vers la terre ou qui en proviendront.

Ayant compris les phénomènes *électrostatiques* et leur origine, les hommes s'attacheront alors à dompter ces mouvements d'électrons : c'est le vaste domaine de l'électrodynamique...



Ce kit se compose de 20 boîtes contenant du matériel pour des groupes de 2 à 3 élèves, d'une boîte professeur permettant des démonstrations supplémentaires, de deux indicateurs de charge + ou -, et de 5 sets de 5 plastiques différents à identifier d'après leurs propriétés électriques, optiques, de densité et d'utilisation.

L'ensemble des expériences nécessite 2 à 3 cours de 50 minutes.

De nombreuses questions d'électrostatique sont abordées. Les élèves vont ainsi construire leurs connaissances sur les notions de

- charge électrique
- électrisation par frottement
- matériau électrisable
- interaction entre objets électrisés
- charge acquise par électrisation
- origine microscopique de l'électrisation (explication par le professeur)
- isolants et conducteurs
- électrisation par influence
- électroscope

## Matériel

### Contenu du kit de l'élève

- Du papier type « essuie-tout » bien sec (au besoin, le poser sur un radiateur un peu avant l'expérience)
- Un sachet en plastique
- Un électroscope (bouteille en plastique renversée, montée sur une plaquette de bois et munie de bandelettes de papier)
- Deux tubes en **PVC**, présentant une extrémité verte
- Deux tubes en **plexiglas**, présentant une extrémité rouge
- Un tube en néoprène noir
- Une grande bouteille en plastique
- Une petite bouteille en plastique
- Un récipient contenant des copeaux de frigolite
- Deux grandes réglettes blanches en angle droit
- Deux colliers « Colson » (attaches en nylon utilisées pour retenir des câbles électriques)
- Deux chalumeaux (pailles)
- Un grand clou en fer
- Un morceau de fil de cuivre
- Un barreau d'aluminium
- Une baguette de bois
- Un rouleau en carton
- Une fiche de travail portant les noms des différents matériaux, un crayon et une gomme.



S'il semble plausible de croire qu'on nettoyait les bibelots en ambre avec une peau de bête, l'Histoire a retenu que les expériences étaient optimisées lorsqu'on utilisait une peau de chat, parfois de lapin ou de mouton, à tel point qu'on lit parfois qu'il *faut* une de ces peaux de bêtes pour que cela fonctionne correctement. Il n'y a bien entendu aucun fondement à cette légende, et le matériel proposé fonctionne tout aussi bien ; qui plus est, il est généralement plus perturbant pour les jeunes enfants de voir l'expérience réalisée avec la peau de leurs petits compagnons à quatre pattes...



# Séquences d'apprentissage

## MANIPULATION 1: LES MATERIAUX ELECTRISABLES

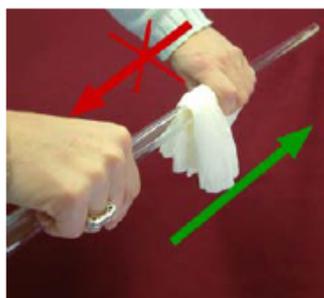
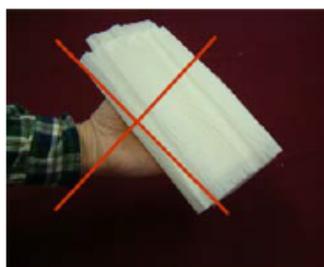
*Les premiers phénomènes d'électrisation remontent à plus de 3000 ans et ont été observés de manière assez fortuite au cours d'activités de tous les jours : le nettoyage. On avait déjà observé que les objets s'échauffaient lorsqu'on les frottait ; on a alors découvert qu'en les frottant pour leur ôter la poussière, ils attiraient plutôt celle-ci, ainsi que de petits objets. D'autres matériaux, par contre, ne présentaient pas cette caractéristique.*

*Une matière couramment utilisée à l'époque pour les bijoux et les bibelots était l'ambre, « elektrôn » en grec, qui donna son nom au curieux phénomène. Celui-ci fut par la suite observé sur le verre et le soufre. Pour des raisons de sécurité, de coût, les boîtes des enfants contiennent non pas les matériaux historiques (ambre et verre) , mais bien des matériaux de notre époque (plexiglas et PVC...)*

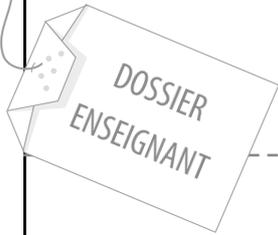


**Matériel utilisé pour la première expérience**

## Conseils pratiques



- Avant de commencer l'expérience, on s'assurera que le papier est très sec : au besoin on le laissera quelques heures sur le radiateur ou au soleil.
- Il est important que la feuille de papier couvre complètement la main. En effet, si le matériau électrisé entre en contact avec la peau, il perd son électrisation (car le corps humain est conducteur, ce que l'on fera apparaître plus tard dans l'exposé...)
- On donnera plusieurs plis au papier, afin de limiter autant que possible l'influence de la transpiration de la main. C'est pour cela qu'un grand morceau de papier est fourni
- L'enseignant et les élèves doivent avoir les mains bien sèches : si certains utilisent des crèmes hydratantes pour s'adoucir la peau, l'expérience risque d'échouer.
- Il est inutile de frotter les objets de manière énergique : non seulement cela n'améliore en rien les observations, mais au contraire ça chauffe les mains et ça fait transpirer ! Par ailleurs il n'est pas nécessaire de frotter en appuyant fortement : tout au plus parviendrait-on à...déchirer la feuille ! En tirant deux ou trois fois, ce sera suffisant.
- Pour frotter le bâton de verre, l'enseignant procédera toujours du poignet vers l'extérieur : en effet si l'on pousse vers soi et que le bâton se brise, on risque de se couper dangereusement la main et le poignet. De la même manière, l'enseignant et les enfants frotteront toujours la baguette vers l'extérieur, en les tenant par leur bout coloré. **Par sécurité, on ne laissera jamais les enfants manipuler la baguette en verre.**



- Il se peut que l'expérience ne fonctionne pas du premier coup avec les baguettes de plastique : il se peut que quelqu'un les ait touché avec des mains grasses ou humides, ou alors c'est encore une trace de leur fabrication ; lors de leur production, elles sont parfois enduites d'un mince film de silicone qui facilite leur passage dans les moules qui les forment ; il suffit de les frotter énergiquement avant l'expérience avec un morceau de papier (qui ne sera pas celui utilisé par la suite...)
- Pour électriser les morceaux de soufre, de pierre, ... on déposera plutôt la feuille de papier sur la table et on frottera les objets sur celle-ci.
- Les copeaux de frigolite ont la désagréable habitude de s'éparpiller partout ! Il faut veiller à ce que les enfants ne les perdent pas, en leur demandant de les ramasser de suite dès qu'ils en font tomber.

L'enseignant va d'abord reproduire les expériences historiques, utilisant le verre, l'ambre, le bois, le soufre, et une peau de mouton pour frotter les objets. S'il n'en dispose pas, il pourra immédiatement utiliser la feuille de papier essuie-tout. Bien qu'ils n'existaient pas au XVII<sup>ème</sup> siècle av. J.-C., les petits objets attirés ou non seront des copeaux de frigolite ; si l'endroit et la saison le permettent, on pourra cependant utiliser également de petites feuilles d'arbres séchées, le résultat n'en sera que plus joli...



L'enseignant frotte d'abord la baguette de bois : on constate dans un premier temps qu'elle s'échauffe, mais elle n'attire pas la frigolite. Reproduisant le même exercice avec le barreau de verre, on constate que les copeaux se collent au bâton. La même chose s'observe avec l'ambre et le soufre ; en revanche un morceau de métal frotté n'attire pas la frigolite.

On peut enchaîner avec les matériaux de notre époque : à l'ambre et le verre on substituera les bâtons de PVC (extrémité verte) et de plexiglas (extrémité rouge). Ces deux matériaux remplaceront l'ambre et le verre tout au long de l'atelier.

## Avant de commencer...

### Légende de la découverte du verre



Le natron, carbonate de soude que l'on trouve dans les lacs salés

du nord de l'Afrique, était utilisé comme détergent. Un jour, des marchands de natron nomades qui étaient dans le désert n'avaient pas de pierre pour soutenir leur marmite sur les braises du campement ; ils utilisèrent à la place des blocs de natron qui, mélangé au sable et sous l'effet de la chaleur, formèrent du verre.

## Expérience

Le premier aspect pédagogique est la préparation de l'espace de travail. Il faut conscientiser les élèves du fait que l'on ne peut réaliser un travail valable dans le désordre, et leur demander avant toute chose de ranger leur bureau. Une fois leur bureau dégagé, ils sont prêts à entamer les expériences.

La première étude systématique pour classer les objets qui s'électrisent ou non remonte aux alentours de 1700 (Otto von Guericke, Du Fay, Nollet,...) C'est cette classification que les enfants vont à présent reproduire.

Les enfants connaissent-ils les matériaux présentés ? Quand les a-t-on découvert ?

Les Anciens (Phéniciens, Egyptiens) connaissaient bien le verre : ils l'avaient découvert en constatant qu'une substance vitreuse était produite quand on portait du sable à très haute température en présence de *natron*. Ils possédaient aussi le soufre, qui est une matière naturelle que l'on trouve près des volcans. Ils connaissaient aussi l'ambre, qui est une résine fossile, et ils utilisaient couramment la résine séchée pour cacheter les documents et les missives. Enfin, ils connaissaient également le travail de certains métaux comme le fer ou le cuivre.

Avant d'entamer leurs manipulations, les enfants vont tenter d'identifier les matériaux dont ils disposent dans leur boîte : ils disposent pour cela d'un carton de couleur sur lequel sont inscrits les noms de ceux-ci, sans ordre particulier. A l'aide du crayon qui leur est également fourni, ils cocheront ces noms une fois les matériaux identifiés. L'enseignant pourra vérifier les résultats et attirer leur attention sur les propriétés des différentes matières : quels sont les caractéristiques de ceux-ci : leur couleur, leur souplesse ?...

Dans leur boîte d'expérience, ils disposent d'une boîte de conserve contenant de la frigolite, qu'ils renversent sur leur table, et d'un certain nombre de matériaux qu'ils vont frotter pour tenter de les électriser. Voir les conseils pratiques pour leur donner les consignes. En plus des boîtes des élèves, l'enseignant fera circuler des boîtes d'objets supplémentaires que lui seul possède : différentes pierres, soufre, carbone,...

En fonction du temps disponible, on demandera aux élèves d'essayer quatre ou cinq éléments.

*Il s'agit d'un bon exercice de lecture et d'écriture. Volontairement, la liste est incomplète et désordonnée : pour chaque échantillon, les enfants doivent identifier la matière, lire la liste proposée pour tenter de l'y repérer et éventuellement l'ajouter s'elle ne s'y trouve pas.*

### Pour aller plus loin...

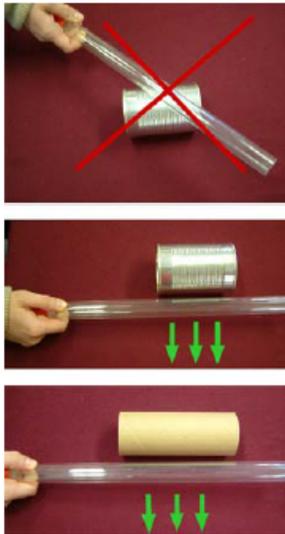
Dans le dossier qu'ils ont reçu, à côté du nom de chacune des matières, ils vont noter **oui** ou **non** selon que le matériau s'électrise ou pas. Lorsqu'ils ont terminé, l'enseignant peut mettre en commun les résultats en les inscrivant au tableau ou présenter un tableau récapitulatif qu'il aura préparé sur un transparent.

Une fois le tableau rempli, l'enseignant amène les élèves à identifier les grandes familles d'objets et voir si la propriété d'électrisation est commune à tous les objets d'une même famille. Ils vont ainsi dégager la famille des métaux, qu'on ne réussit pas s'électriser par frottement en les tenant à la main, les matières synthétiques (plastiques) qui le peuvent, les matières naturelles qui le peuvent parfois, et parmi celles-ci les pierres, qui ne s'électrisent généralement pas (la tourmaline et le quartz peuvent s'électriser).

L'exercice peut déborder sur des leçons de chimie, de géographie, ... A titre d'exemples, quelques questions sur lesquelles rebondir :

- **Les enfants savent-ils ce qu'est l'ébonite ?** Cette matière peu connue est pourtant fréquemment rencontrée, puisqu'elle permet notamment de réaliser les peignes noirs usuels. On obtient l'ébonite en chauffant du caoutchouc naturel adjoint de soufre.
- **Quelle est la différence entre le caoutchouc naturel et le synthétique ?** Le naturel s'obtient à partir de la sève d'arbres (l'hévéa) que l'on trouve en Malaisie, au Brésil ou en Afrique ; il est mou et un peu collant. En ajoutant du soufre et en chauffant le mélange, on peut lui donner une certaine consistance, et réaliser par exemple des pneus de voiture : on appelle cela la vulcanisation du caoutchouc. Un peu plus de soufre, et on obtient l'ébonite. Le caoutchouc synthétique, appelé aussi *néoprène*, est quant à lui un dérivé de produits pétroliers. Où se situe la Malaisie ? Où trouve-t-on le pétrole ? Avec les plus grands on peut même aborder son importance stratégique, politique, économique...
- **Le soufre** s'obtient au pied des volcans, mais aussi par raffinage du pétrole. Il en subsiste d'ailleurs toujours un peu dans l'essence, et c'est notamment une des raisons pour lesquelles l'essence pollue. De là, que tire-t-on du pétrole ? Quelles sont les différentes pollutions qu'il génère ?
- **Qu'est-ce qu'un atome ? Et un cristal ?** Quel est le point commun entre un diamant et la mine de mon crayon ? Le carbone ! On trouve du carbone amorphe, comme les échantillons proposés dans les boîtes. Si les atomes qui le composent s'organisent en un réseau cristallin, on forme du graphite, comme la mine des crayons. Il n'y a pas qu'une seule manière de former le cristal, et un autre arrangement conduit au diamant. Il est amusant de voir les contrastes entre le plus pur le plus noir, entre un matériau très dur et un autre très cassant, tous deux pourtant composés des mêmes atomes...

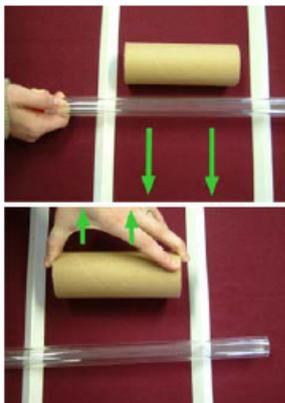
## Expériences supplémentaires



*Ici encore on soulignera l'importance d'une table bien propre et dégagée pour permettre aux objets de rouler !*

L'enseignant peut montrer que l'attraction peut déplacer des objets plus importants. Il frotte une baguette de PVC et/ou de plexiglas (ce dernier produisant des résultats optimaux) puis l'approche bien parallèlement à la boîte de conserve couchée sur la table ; sans la toucher, il montre qu'il peut la faire rouler dans un sens et dans l'autre. Les élèves croient cependant parfois qu'il s'agit d'une attraction magnétique, alors pour les convaincre du contraire, il recommence l'expérience avec le rouleau en carton. Il faut insister sur le fait que c'est bien l'objet électrisé qui attire l'autre, alors que ce dernier n'est pas électrisé : c'est flagrant pour le cas de la boîte de conserve métallique et du rouleau en carton, qui ne sont pas électrisables. Il s'agit donc bien de l'interaction entre *un objet électrisé* et *un autre qui ne l'est pas*, et non de l'interaction entre deux objets électrisés (cette notion fera l'objet de la seconde partie).

### Pour aller plus loin...



L'enseignant qui souhaite aller plus loin peut alors introduire le **principe d'action-réaction** : si la baguette électrisée attire vers elle d'autres objets, alors ces mêmes objets doivent être en mesure d'attirer la baguette, ce que l'on ne pouvait visualiser avec la frigolite.

Pour observer cela, on dispose les deux réglettes en équerre bien parallèles sur la table, distantes d'une quinzaine de centimètres. On dispose le rouleau en carton entre les réglettes puis on électrise la baguette de plexiglas par frottement : en l'approchant du rouleau on parvient à mettre celui-ci en mouvement, ce qu'on savait déjà... On électrise à nouveau la baguette de plexiglas et on la dépose sur les réglettes, de manière bien perpendiculaire, après avoir ôté le rouleau. En approchant la boîte de conserve ou le rouleau de carton parallèlement à la baguette, on peut également la mettre en mouvement !

*Cette expérience nécessite un petit peu de dextérité pour imposer à la baguette des mouvements d'aller-retour sur les « rails » : une fois la baguette lancée, il faut rapidement passer de l'autre côté avec le rouleau pour lui imposer le mouvement de retour avant qu'elle ne tombe de ses rails !*

## MANIPULATION 2 : INTERACTION ENTRE OBJETS ELECTRISES

*Jusqu'à présent, nous avons appris qu'en frottant certains objets, il est possible de les électriser. Cette propriété est caractéristique de certains matériaux, et ne peut jamais s'observer sur d'autres : nous avons ainsi dressé des familles d'objets électrisables ou non. Utilisant un matériau qui s'électrise bien, comme le plexiglas, nous avons également constaté que cette propriété conférait aux objets la faculté d'en attirer d'autres non électrisés.*

*Mais que se passe-t-il si on approche deux matériaux électrisés ? C'est la question à laquelle nous répondront dans la seconde partie.*

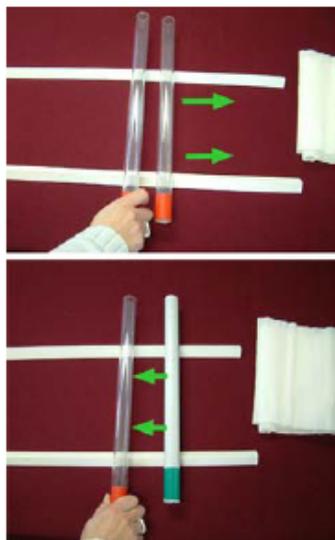
*Historiquement, les premières études de l'interaction entre objets électrisés remonte aux alentours de 1750 ; elles aboutiront sur l'identification par Du Fay et Nollet de deux types d'électricités, l'une typique de l'ambre et de la résine, que l'on appellera électricité résineuse, et l'autre que l'on retrouve notamment sur le verre, et que l'on qualifiera de vitreuse. Franklin leur donnera ensuite les signes conventionnels : négatif pour l'électricité résineuse et positif pour l'électricité vitreuse.*

*Pour mettre en évidence ces deux types d'électricités, nous utiliserons bien entendu exclusivement des objets qui peuvent s'électriser. L'ensemble du matériel nécessaire à cette seconde partie est illustré sur la figure ci-dessous : il comprend la petite bouteille en plastique, les attaches « Colson » en nylon, les chalumeaux, les baguettes en plexiglas et en PVC (l'enseignant gardera à sa disposition l'ambre et le verre), les deux réglettes en équerre blanches et le papier à frotter.*



# Expériences de l'enseignant

*Pour préparer son expérience, l'enseignant disposera à nouveau les deux réglettes en équerre blanches sur la table d'expérience, bien parallèles. Il veillera toujours à travailler sur un espace bien dégagé, c'est à dire en posant les réglettes bien à plat, pas en équilibre sur des feuilles de notes, un livre ouvert... En effet, si ce n'est pas le cas, les baguettes vont se mettre à rouler toutes seules et risquent de fausser les conclusions des élèves.*



On commence par électriser une baguette de plexiglas et on la dépose perpendiculairement au milieu des réglettes blanches. On électrise la seconde et on l'approche parallèlement à la première : elle se repousse.

On recommence l'expérience avec le PVC : la première baguette est électrisée et posée sur les réglettes, puis la seconde est frottée à son tour. Lorsqu'on l'approche de la précédente, elles se repoussent également.

Dans un troisième temps, on électrise une baguette de plexiglas et on la dépose sur les réglettes, puis on électrise une de PVC et l'approche de la première : on constate qu'elles s'attirent.

*Ici encore, l'enseignant fera preuve d'habileté pour éviter que la baguette qui roule tombe des réglettes, mais effectue plutôt un mouvement d'aller-retour pour permettre aux élèves de bien voir le phénomène de répulsion. Il ne faut pas que les baguettes se cognent, sinon les élèves peuvent croire que les baguettes rebondissent simplement l'une sur l'autre.*

# Travail de l'élève

Dossier élèves pp.8 et 9

## Première expérience<sup>1</sup>

*L'enseignant sera attentif aux dessins : l'abstraction des interactions au moyen de flèches n'est pas évidente chez certains enfants.*

Les élèves vont dans un premier temps reproduire les trois expériences présentées. Sur leur cahier ils représentent par des flèches le caractère attractif ou répulsif de l'interaction. Ceci peut amener les élèves à tirer une conclusion :

*« Une fois électrisés, deux matériaux identiques se repoussent, et deux matériaux différents s'attirent. »*



L'enseignant insistera également sur la **démarche scientifique** :

on réalise une expérience dont on note les résultats, et ensuite on tente de tirer des conclusions. La première partie est inutile sans la seconde et la seconde ne peut exister que par la première !

il faut ensuite faire d'autres expériences qui confirmeront ou invalideront les conclusions précédentes, ou qui généraliseront celles-ci.

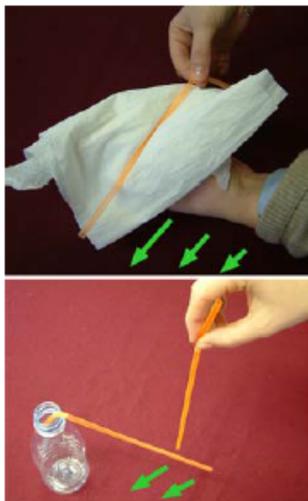
Cette démarche est **fondamentale** pour toute activité scientifique ! L'enseignant rappellera celle-ci lors de la première expérience : même si nous connaissons aujourd'hui les lois de l'électricité, il ne faut pas généraliser trop vite : la conclusion tirée au terme de la première expérience est la seule plausible au vu des résultats obtenus, et ce sont les expériences suivantes qui vont tenter de confirmer celle-ci ou de la compléter...

## Deuxième expérience

*L'enseignant montre comment disposer les matériaux, mais laisse aux élèves le soin de découvrir les interactions. S'il manque de temps il réalisera lui-même les expériences suivantes.*

Pour compléter les observations réalisées lors de la première expérience, les élèves vont reproduire celle-ci avec d'autres matériaux qui s'électrisent bien : la paille en plastique et l'attache en nylon. Comme la forme des pailles et surtout des attaches ne permet pas de les faire rouler facilement sur les réglettes, on suivra un autre mode opératoire en utilisant comme support la petite bouteille en plastique

### 1. Expérience avec les deux pailles.

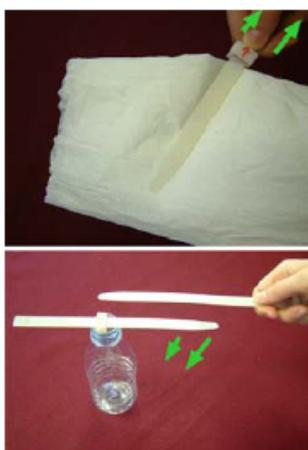


Qu'en est-il avec le plastique ? Pour le savoir les élèves vont reproduire l'expérience avec les chalumeaux (pailles).

On pourrait laisser rouler une des deux pailles sur les réglettes parallèles comme dans l'expérience précédente, mais si le coude est légèrement courbé, alors elle roule mal ; c'est pourquoi on préférera le dispositif suivant. L'une d'entre elle est recourbée et électrisée en frottant le plus grand côté ; le petit côté est introduit dans la bouteille, en principe elle tient en équilibre. On électrise alors l'autre paille et on l'approche de la première : celle-ci va se mettre à tourner sur le goulot de la bouteille. Ici encore, le résultat est meilleur si les deux pailles sont bien parallèles.

*On demandera aux élèves de ne pas étirer au maximum le petit accordéon qui fait le coude de la paille, afin qu'il se plie mieux sur le rebord de la bouteille.*

### 2. Expérience avec les attaches en nylon.



Etudions à présent le nylon, au moyen des attaches « Colson ».

L'une d'entre elles est déjà préparée avec le bulbe de fixation au centre de la tige. Les élèves électrisent la pointe de celle-là et la disposent avec le bulbe en équilibre sur le goulot de la bouteille. Ils électrisent l'autre et, en l'approchant de la première, voient qu'elle la fait tourner sur le sommet de la bouteille.

*Une petite flèche garnit le bulbe d'un des cordons ; ce bulbe peut en effet glisser le long de la tige, mais seulement dans un sens. S'il s'en détache, il faut l'enfiler à nouveau par la pointe de la tige, en suivant le sens de la flèche, et jusqu'à la ligne dessinée sur la tige.*

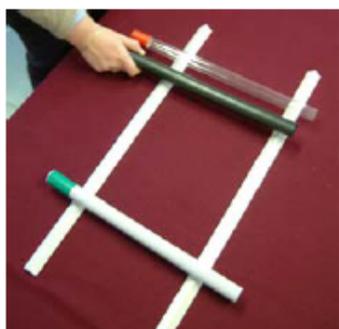
### 3. Expérience mixte

Les élèves reproduisent les mêmes expériences, mais en faisant interagir une paille et une attache, et notent leurs résultats dans le tableau de leur dossier.

### 4. Conclusion

Cette seconde série d'expériences reproduit les résultats de la première série : les matériaux identiques se repoussent et les différents s'attirent.

### Troisième expérience



En suivant les modes opératoires illustrés par les expériences précédentes, les élèves étudient systématiquement les interactions entre tous les matériaux électrisables dont on dispose. Ainsi par exemple, on propose aux élèves la manipulation suivante : on reprend la paille qu'on électrise et on la place dans la bouteille, puis on électrise une baguette en PVC et on l'approche de la paille. Que se passe-t-il ?

Les résultats de toutes les expériences sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

	Exp. 1		Exp. 2			Exp. 3	
R : répulsion A : attraction	Plexi.	PVC	Plastique	Nylon	Néoprène	Polystyrène	Verre
Plexi.	R	A	A	R	A	A	R
PVC	A	R	R	A	R	R	A
Plastique	A	R	R	A	R	R	A
Nylon	R	A	A	R	A	A	R
Néoprène	A	R	R	A	R	R	A
Polystyrène	A	R	R	A	R	R	A
Verre	R	A	A	R	A	A	R

Ils montrent que des matériaux identiques se repoussent toujours, mais que dans certains cas, il est possible que des matériaux différents se repoussent, ce qui s'oppose aux manipulations précédentes. Ils complètent le tableau présenté dans leur cahier et, avec l'enseignant, tirent la conclusion suivante :

*« Lorsqu'ils sont électrisés, deux matériaux identiques se repoussent toujours ; avec deux matériaux différents, parfois ils se repoussent et parfois ils s'attirent. »*

		Repoussés par le Plexi. Attirés par le PVC			Attirés par le Plexi. Repoussés par le PVC			
R : répulsion A : attraction		Plexi.	Nylon	Verre	PVC	Plastique	Néoprène	Polystyrène
Repoussés par le Plexi. Attirés par le PVC	Plexi.	R	R	R	A	A	A	A
	Nylon	R	R	R	A	A	A	A
	Verre	R	R	R	A	A	A	A
Attirés par le Plexi. Repoussés par le PVC	PVC	A	A	A	R	R	R	R
	Plastique	A	A	A	R	R	R	R
	Néoprène	A	A	A	R	R	R	R
	Polystyrène	A	A	A	R	R	R	R

Dans le tableau que l'on vient de construire, les divers matériaux utilisés sont rangés dans un ordre totalement arbitraire. On obtient une meilleure présentation des résultats en regroupant dans les premières lignes et colonnes du tableau les matériaux repoussés par le plexiglas, et dans les lignes et colonnes suivantes ceux attirés par le plexiglas. Le nouveau tableau ainsi obtenu est plus facile à analyser que le précédent ; il montre clairement que

- deux matériaux identiques se repoussent toujours ;
- tous les matériaux repoussés par le plexiglas se repoussent entre eux et attirent tous les matériaux attirés par le plexiglas ;
- tous les matériaux repoussés par le PVC se repoussent entre eux et attirent tous les matériaux attirés par le plexiglas.

Du point de vue de l'électrisation, on peut donc grouper les matériaux en deux familles : ceux qui se comportent comme le PVC et ceux qui s'apparentent au plexiglas. Si les élèves sont dubitatifs, il montre bien qu'avec ces deux seules familles, on peut classer tous les matériaux et on vérifie toutes les interactions observées. Pour confirmer ceci, l'enseignant pourra refaire l'expérience avec les baguettes de PVC et de plexiglas, en utilisant un troisième bâton, en néoprène (la baguette noire). La baguette de néoprène attirera le plexiglas et les matériaux de la même famille, mais repoussera le PVC et ceux de sa famille.

Les familles identifiées seront finalement les suivantes : (l'enseignant peut ici mentionner d'autres matériaux qui n'ont pas été utilisés) :

Famille du PVC	Famille du plexiglas
plastique	nylon
néoprène	verre
polystyrène	...
mousse isolante	
...	

Avec les élèves, il tire la conclusion suivante :

*Il existe deux sortes d'électricités ; deux corps électrisés de la même famille se repoussent, et deux corps de famille différente s'attirent.*



La question du nombre de familles est légitime, et de nombreux scientifiques de l'époque se sont posé la question de l'existence éventuelle d'une troisième famille, voire plus... C'est une étude systématique de tous les matériaux connus qui a montré qu'ils se rangeaient toujours dans l'une ou l'autre famille. Rappelons que, lors de cette découverte, l'électron n'était pas encore connu, et donc personne ne pouvait donner une explication au phénomène d'électrisation ; tout au plus considérait-on l'existence d'un fluide électrique.

Puisque l'enseignant dispose d'une baguette de verre, il peut s'il le souhaite montrer que l'on a judicieusement remplacé celui-ci par le plexiglas, l'autre famille étant celle du PVC : il suffit d'électriser le verre, le poser sur les réglettes blanches, et regarder comment il se comporte par rapport au plexiglas et au PVC électrisés.

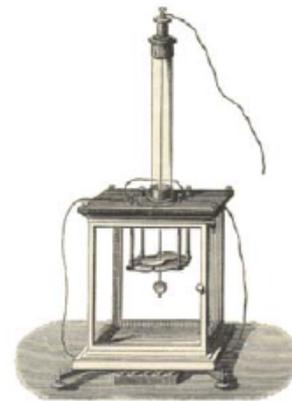
On se rappelle alors qu'on a choisi le plexiglas et le PVC respectivement à la place du verre et de la résine. L'enseignant explique alors que, par convention, on a défini la première comme électricité vitreuse et l'autre comme électricité résineuse, puis qu'on leur a donné respectivement les signes positif et négatif. Cette convention est purement arbitraire, et on aurait tout aussi bien utilisé la dualité blanc-noir, jour-nuit,...

En résumé :

Verre	→	Plexiglas	→	électricité vitreuse	→	signe positif
Ambre ou résine	→	PVC	→	électricité résineuse	→	signe négatif

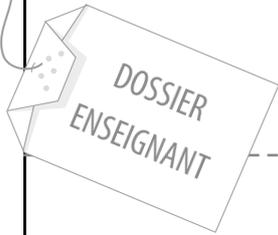
### Note complémentaire

En 1800, Coulomb identifie la charge électrique à l'aide de la balance de torsion, et réexprime la loi de la manière suivante : deux charges de même signe se repoussent, et deux charges de signe opposé s'attirent. Il quantifiera cette loi en prouvant que la force d'interaction varie avec le produit des charges, et l'inverse du carré de la distance qui les sépare...



Lorsqu'il a découvert l'électron, Thomson lui a délibérément attribué le signe négatif. Il s'agissait d'un choix et non d'une déduction. C'est donc par un heureux hasard que l'on a constaté, par la suite, que l'électricité du verre résultait d'un arrachage des électrons du verre, faisant correspondre la charge attribuée à l'électron et celle donnée arbitrairement à l'électricité vitreuse : la perte d'un électron négatif correspond à l'apparition d'une charge positive.

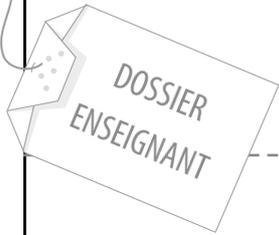
Ce n'est qu'au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, lorsque Rutherford a développé le modèle atomique et après que Thomson ait découvert l'électron, que l'on a compris ce qu'il se passait. Lorsque l'on frotte le verre ou le plexiglas avec la feuille de papier, celle-ci arrache des électrons à la baguette, qui s'en trouve ainsi chargée positivement. A l'inverse, la baguette de PVC arrache des électrons de la feuille lorsqu'on les frotte, et devient ainsi chargée négativement. C'est l'excès de charge électrique qui engendre l'attraction des corps, qu'ils soient neutres ou de charge opposée, ou la répulsion si l'autre corps présente un excès du même signe. On justifie par ailleurs qu'il n'existe que deux sortes d'électricité, puisqu'il ne peut y avoir qu'un excès ou un défaut d'électrons.



### Pour aller plus loin...

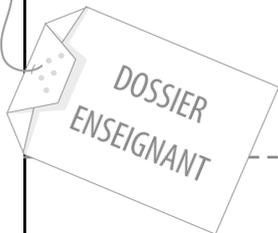
*Cette extension est conseillée uniquement pour des élèves à partir de la troisième année du secondaire.*

Si l'enseignant le souhaite, il peut aller plus loin en précisant que le matériau avec lequel on frotte a également de l'influence. Pour cela il frotte la baguette de plexiglas (ou celle de PVC) avec la feuille de papier, et la dispose sur les réglettes blanches. Il frotte alors la baguette de néoprène (noire) avec la feuille de papier : il attire le plexiglas (ou repousse le PVC). Par contre si on frotte le néoprène avec le sachet en plastique, l'effet inverse se produit. L'électrisation dépend donc de la faculté des matériaux à céder ou retenir leurs électrons, celui qui les retient le moins en cédant une partie à l'autre.



### MANIPULATION 3 : ELECTRISÉ + OU - ?

- A l'avant de la salle de labo se trouvent deux petits appareils détecteurs de charge. Approche successivement le plexiglas et le PVC électrisés avec du papier et note le signe de la charge acquise :
- Plexiglas : +
- PVC : -
- Puis, en reprenant les résultats acquis précédemment avec les autres matériaux, complète le tableau suivant :



Se chargent posi- tivement	Se chargent né- gativement
Plexiglas	PVC
Verre	Plastique PET
Nylon	Néoprène
	Polyuréthane

## INTERPRETATION DANS LE MODELE DE RUTHERFORD

**Modèle de Rutherford**

La matière est constituée d'atomes.

Rutherford se représenta l'atome comme constitué d'un grand volume vide au centre duquel se trouve le noyau constitué de protons ( $p^+$ ) positifs. Autour de ce noyau se déplacent des électrons ( $e^-$ ) négatifs en même nombre que les protons.

L'atome est électriquement neutre.

Electrisation et charge électrique

Les phénomènes d'électrisation s'expliquent à partir des **particules** qui composent l'atome : lors des frottements, on agit sur la surface de la matière, on n'agit pas au niveau du noyau. Ce sont les électrons périphériques qui sont transférés d'un corps vers un autre par frottement.

Comment se charge le corps dont les atomes ont perdu des électrons?

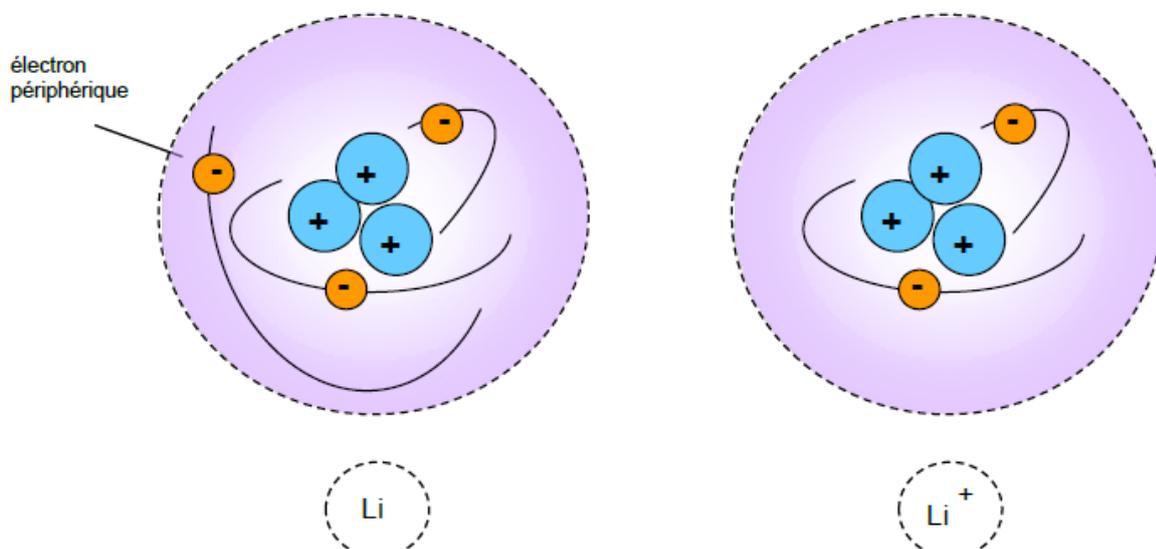
- Le corps qui perd des électrons présente un **défaut d'électrons**. Globalement, il est chargé **positivement**.
- Le corps dont les atomes gagnent des électrons présente un **excès d'électrons**. Globalement, il est chargé **négativement**.

Les atomes cités ci-dessous comme exemples ne peuvent gagner ou donner des électrons par frottement (car ceux-ci sont trop fortement liés). Les schémas représentent les modèles selon Rutherford.

- Atome de lithium :

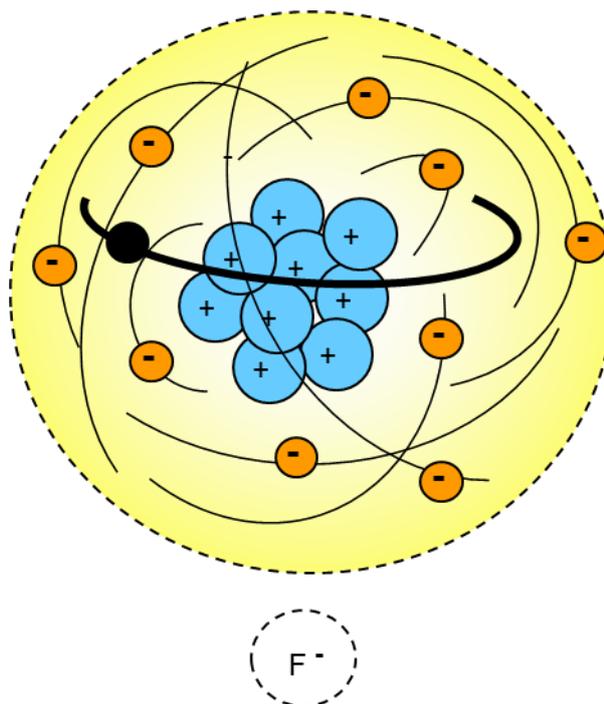
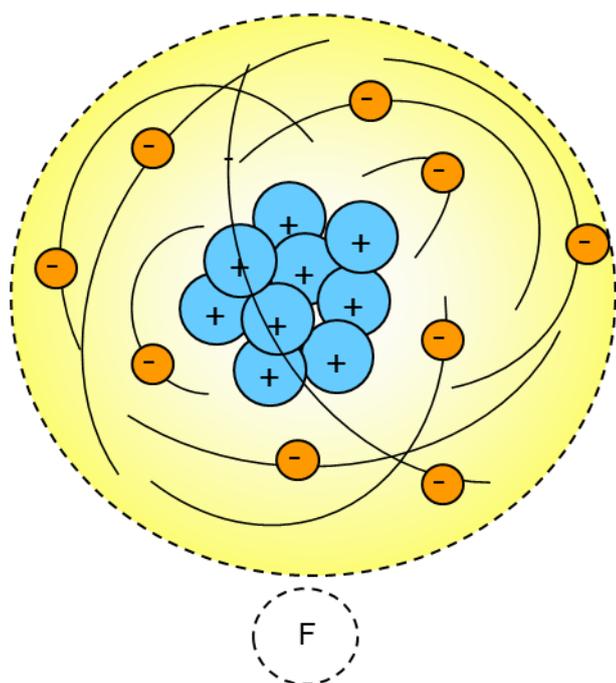
3 électrons évoluent autour d'un noyau contenant 3 protons.

Lorsque l'atome de lithium perd un électron périphérique, il devient un ion une fois positif.



- Atome de fluor

9 électrons évoluent autour d'un noyau contenant 9 protons.  
Lorsque cet atome gagne un électron, il devient un ion une fois négatif.



### Autres expériences amusantes

[http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Balloons\\_and\\_Static\\_Electricity](http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Balloons_and_Static_Electricity)

## MANIPULATION 4 : ISOLANTS ET CONDUCTEURS

*Au terme des expériences précédentes, nous avons constaté que certains matériaux pouvaient être électrisés par frottement. L'électricité qui en résultait pouvait être de deux types, auxquels nous avons attribué par convention les signes positif et négatif. Étudiant les interactions entre matériaux électrisés, nous avons établi que deux corps chargés de même signe se repoussent, alors que deux corps de charge opposée s'attirent.*

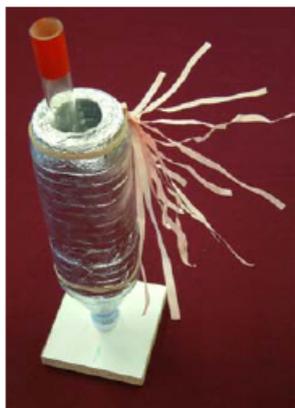
*Afin d'étudier de manière systématique les éléments et leur propriété d'électrisation éventuelle, nous allons avoir recours à un instrument ingénieux : l'électroscope.*

*Historiquement, l'électroscope remonte à l'époque de Coulomb : sa structure était en verre, recouverte d'une feuille d'étain, et aux parois extérieures étaient fixées des bandelettes de papier. Notre électroscope utilisera également des bandelettes de papier, mais la bouteille de verre sera remplacée par une en plastique, tandis que l'aluminium se substituera à l'étain. Il est présenté sur la photo ci-dessous, avec l'ensemble du matériel utilisé au cours de cette troisième partie.*



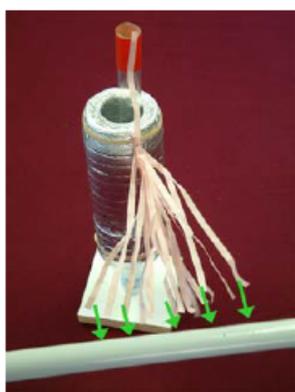
## Expériences de l'enseignant

### Première expérience

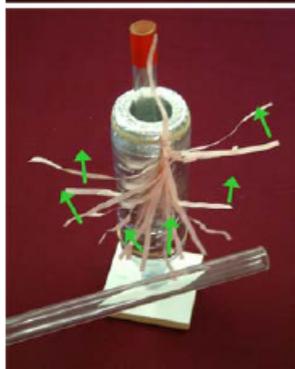


Une première expérience va amener l'enseignant à expliquer le fonctionnement de l'électroscope. Il électrise la baguette de plexiglas et l'introduit dans l'électroscope : les bandelettes de papier se soulèvent. Pourquoi ?

A l'aide des élèves, l'enseignant établit le fait suivant : on savait qu'en frottant le plexiglas avec le papier, on l'électrise positivement. *Lorsqu'on met la baguette en contact avec l'électroscope, ces charges positives vont passer sur la feuille d'aluminium, puis sur les bandelettes en papier et, celles-ci étant alors toutes chargées du même signe, elles vont tenter de se repousser au maximum.* Cela nous amène déjà à admettre que certains matériaux, tels l'aluminium et dans une moindre mesure le papier, permettent un transport des charges électriques d'un endroit à l'autre...



Une fois chargé par des charges d'un signe connu, l'électroscope va permettre de retrouver le signe auquel sont portés différents matériaux par frottement. Ainsi, si on frotte le PVC avec le papier puis qu'on approche la baguette des bandelettes de l'électroscope, il les attire ; si l'on reproduit la même expérience avec le plexiglas, ce dernier les repousse.



L'enseignant peut effectuer la même expérience à l'aide de la baguette de néoprène (noire). Avec l'électroscope, on pourra constater que le néoprène se charge négativement quand on le frotte avec le papier et positivement quand on le frotte avec le sachet en plastique.

## Deuxième expérience



L'électroscope peut permettre d'identifier un conducteur d'un isolant. On commence par le charger en y introduisant la baguette de plexiglas frottée avec le papier. (les autres baguettes conviendraient également, mais il apparaît que c'est le plexiglas qui produit le meilleur soulèvement des bandelettes de l'électroscope). Si on touche alors l'électroscope avec le clou en fer, on voit clairement les bandelettes retomber le long de la bouteille. Si on le charge puis qu'on le touche avec le PVC, celui-ci ne permet pas aux charges de s'enfuir et les bandelettes restent en l'air. On en conclut la chose suivante :

*Certains matériaux offrent aux charges qui se sont disposées aux extrémités des bandelettes une voie d'évasion et l'électroscope se décharge, les autres matériaux n'ont pas cette propriété et l'électroscope reste chargé.*

*Nous dirons qu'un matériau capable de décharger l'électroscope est conducteur, tandis qu'un matériau qui ne le peut pas sera appelé un isolant.*

# Expérience des élèves

Dossier élèves p.11

L'expérience précédente constitue le mode opératoire pour identifier le caractère conducteur ou isolant : les élèves chargent l'électroscope avec la baguette en plexiglas puis le touchent avec les différents matériaux. En observant le comportement des bandelettes, ils vont compléter le tableau dans leur fascicule en cochant, pour chaque matériau, son caractère isolant ou conducteur.

L'enseignant rassemble alors les observations des différents groupes et tire avec les élèves la conclusion suivante :

Les métaux sont conducteurs.

Les plastiques, le bois, le caoutchouc naturel sont isolants.

On comprend alors pourquoi on ne parvenait pas à électriser un métal par frottement en le tenant à la main : lorsqu'on frotte celui-ci, les charges éventuellement arrachées (ou cédées) au papier peuvent immédiatement se mettre en mouvement et s'enfuir au travers du corps humain, alors qu'en frottant un isolant, elles restent localisées à l'endroit où elles ont été déposées.

## Pour prolonger la réflexion...

Dossier élèves p.12

Sur base des concepts appris jusqu'à présent, l'enseignant peut, s'il le souhaite et s'il lui reste du temps, avancer les questions suivantes, qui trouveront des points d'attache dans la vie de tous les jours des élèves. La photographie ci-dessous présente le matériel nécessaire à cette partie : il ne se trouve que dans la boîte de l'enseignant, et donc les expériences ne seront réalisées que par lui.



### Le corps humain conducteur ?

Au fait, par où s'enfuient les charges, lorsque le clou de fer décharge l'électroscope ?

En répondant à cette question, l'enseignant amène les élèves à réfléchir sur le caractère conducteur du corps humain. Pour élucider cette question, l'enseignant réalise l'expérience suivante : il charge l'électromètre à la manière habituelle, avec la baguette de plexiglas, puis il approche son doigt tendu vers le rebord supérieur, près de la courbure de la bouteille ; on entend alors un petit claquement et, s'il fait bien sec et sombre, on peut même voir une étincelle entre le bout du doigt et le rebord de l'électromètre.

Le corps humain a déchargé l'électroscope.

*Si l'enseignant veut faire visualiser l'étincelle, il sera important de plonger la salle dans l'obscurité et d'attendre quelques minutes que les yeux se soient habitués à cette obscurité.*

L'enseignant invite alors les élève à reproduire la même expérience : ils réaliseront les mêmes observations, et en plus ils sentiront le picotement de la décharge (qui est totalement inoffensive !)

### L'air est-il conducteur ?

L'ensemble des expériences réalisées jusqu'à présent ont mis en scène des corps solides. On peut prolonger la question au cas des fluides, en commençant par les gaz. L'air est le gaz le plus commun...et le plus inoffensif ! Les élèves peuvent simplement, en réfléchissant sur les expériences qu'ils viennent de voir, déduire que

*L'air est isolant : si ce n'était pas le cas, il serait impossible de maintenir un électromètre chargé.*

L'enseignant les amène à cette conclusion, et peut extrapoler en décrivant les lignes de haute tension aériennes (que se passerait-t-il si l'air était conducteur ?) Il peut aussi nuancer sa réponse en expliquant que, dans certains cas, l'air peut devenir conducteur. Pour cela, il charge l'électromètre puis approche une bougie (allumée !) de celui-ci : on constate que les bandelettes retombent, signe que l'appareil se décharge. L'enseignant peut alors digresser sur des notions d'ionisation, par exemple, en fonction de sa classe.

*Remarque triviale mais capitale : attention à ne pas brûler les bandelettes de l'électroscope avec la bougie...*

### Un liquide est-il conducteur ?



S'il est impossible de formuler une réponse valable pour l'ensemble des liquides, on peut au moins élucider la question pour le cas de l'eau, qui est malgré tout le liquide le plus courant autour de nous ! Pour cela, l'enseignant invite les élèves à réaliser l'expérience suivante (s'il manque de temps il la réalisera lui-même devant la classe).

On charge l'électromètre à l'aide de la baguette de plexiglas, puis on touche celui-ci à l'aide de la baguette de bois bien sec ; les bandelettes de papier descendent tout doucement :

*Le bois n'est pas isolant, mais est un mauvais conducteur.*

On humidifie alors légèrement l'extrémité de la baguette de bois, puis on recharge l'électromètre et on reproduit l'expérience ; les bandelettes retombent brutalement le long du cylindre :

*L'eau est conductrice.*

*Note : il n'est pas nécessaire de détremper le bâton : en humidifiant l'extrémité avec un bout de tissu mouillé, l'expérience fonctionnera parfaitement et l'on évitera que le bâton gonfle à la longue...*

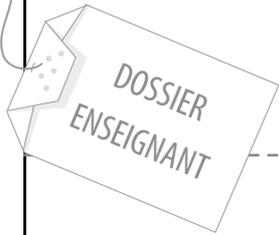
### Des normes de sécurité...



Pour approfondir avec les élèves les questions de sécurité vis-à-vis de l'électricité, l'enseignant proposera encore l'expérience suivante. Il dispose dans son matériel de deux tournevis ; il va charger successivement l'électromètre et le toucher avec ceux-ci : l'un d'entre eux va le décharger, tandis que l'autre le laissera chargé. On comprend pourquoi les électriciens utilisent du matériel particulier...

L'enseignant peut inviter les élèves à réfléchir sur l'installation électrique de la maison (ex. : toujours commencer par couper le courant, nécessité de monter sur une chaise avec des bouchons en plastique plutôt qu'une en bois, contrairement aux idées communes, n'utiliser que des outils adéquats,...)

Les élèves pourront se rendre compte que des bricolages domestiques pour aménager l'installation électrique sont parfois très risqués, avec les tristes conséquences que l'on sait...



## MANIPULATION 5 : IDENTIFICATION DE PLASTIQUES

Polymère 1: PVC

Polymère 2: polystyrène choc

Polymère 3: nylon

Polymère 4: polypropylène

Polymère 5: polycarbonate

## SYNTHÈSE

*Il est inutile d'insister auprès de l'enseignant sur l'importance d'une synthèse détaillée reprenant l'ensemble des notions apprises. Les lignes qui suivent en dressent les grands axes, que chaque enseignant pourra utiliser et compléter en fonction de ce qui aura été présenté. Il pourra ainsi y inclure ou non les éléments proposés comme objectifs de dépassement. Il lui sera loisible également lui donner la forme et l'étendue qu'il souhaite, entre la photocopie remise aux élèves et le document réalisé avec eux.*

Dans la première partie, nous avons constaté que certains corps s'électrisent et d'autres pas. Nous avons identifié une méthode pour les distinguer : lorsqu'on les frotte, ceux qui s'électrisent acquièrent la propriété de pouvoir attirer de petits objets...mais aussi de plus gros !

Confrontant entre eux des objets électrisés, nous avons alors constaté qu'ils pouvaient interagir. En multipliant les expériences, nous sommes arrivés à la conclusion qu'il existe deux types d'électricité, auxquels nous attribuons les signes positif et négatif de l'arithmétique. Nous avons de plus établi la loi suivante : deux corps électrisés de même signe se repoussent, tandis que deux corps de même signe s'attirent. Sur base du modèle atomique classique (un noyau positif autour duquel gravitent des électrons négatifs), nous admettons que cette électricité résulte d'un excès ou d'un défaut d'électrons, respectivement déposés ou arrachés lors du frottement.

A l'aide de l'électromètre, nous avons alors classifié les matériaux en deux classes. D'une part les isolants, qui ne modifient pas l'état de charge de l'électroscope et qui peuvent s'électriser par frottement ; d'autre part les conducteurs, qui déchargent immédiatement l'appareil et ne peuvent pas être électrisés par frottement. Nous analysons ce phénomène en affirmant que, dans un conducteur, les charges déposées par frottement sont immédiatement dissipées, alors que dans un isolant elles ne sont pas libres de se mouvoir et restent donc à l'endroit où elles ont été déposées. Par quelques expériences annexes, nous avons également déduit que le corps humain est conducteur, ainsi que l'eau, tandis que l'air est normalement un isolant.