

# Electromagnétisme

Roland Christophe

4 avril 2014

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Notions de bases</b>	<b>2</b>
2.1	Les phénomènes électrostatiques . . . . .	2
2.2	Loi de Coulomb . . . . .	3
2.3	Structure de la matière . . . . .	5
2.4	Le champs électrique . . . . .	6

# 1 Introduction

Les phénomènes dits «électrostatiques» sont connus des scientifiques et philosophes depuis l'antiquité. Les Grecs avaient constatés qu'en frottant de l'ambre jaune, cette ambre pouvait attirer des corps légers. D'ailleurs, le mot «électricité» vient du grec «elektron », qui signifie ambre. On peut faire la même expérience très facilement en utilisant du plastique à la place de l'ambre.

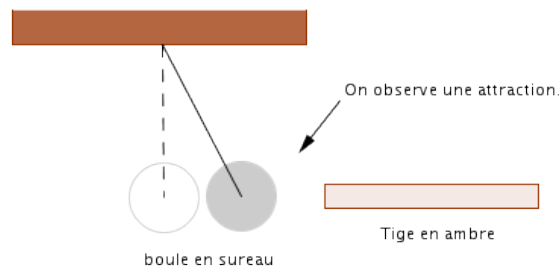
Nous allons tout d'abord tenter d'expliquer cette attraction avec des expériences plus précises. la plupart d'entre vous je pense, ont déjà vu ces expériences à l'école (les fameuses petites boules en sureau ou en polystyrène suspendues par des fils) et ça n'est pas la peine de reparler de ces expériences trop longtemps, je rappellerai brièvement le principe de ces expériences pour ceux qui ne les connaîtrai pas ou plus.

L'électrostatique est relativement simple à aborder au départ, c'est seulement après (électromagnétisme...) que les choses vont se compliquer. Il est donc important de comprendre les bases, sans quoi il ne sera pas possible de comprendre la suite.

## 2 Notions de bases

### 2.1 Les phénomènes électrostatiques

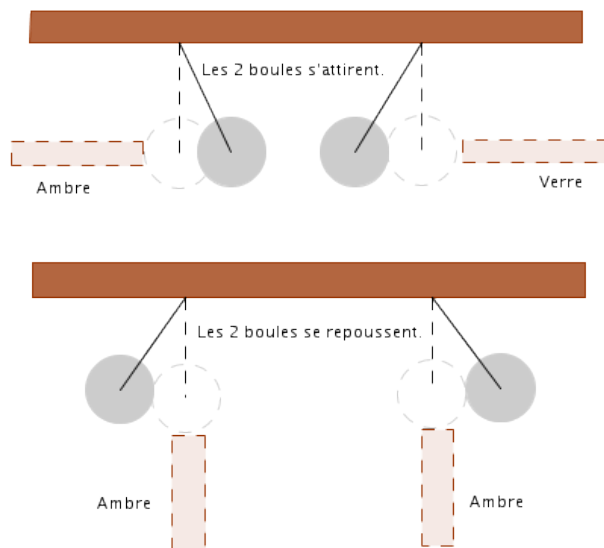
On décide donc de faire une série d'expériences pour tenter de mieux comprendre ces phénomènes électriques. On a une petite boule (de sureau par exemple), et on y approche une tige d'ambre frotté : la boule est attirée.



*On constate une attraction, les propriétés de l'ambre ont été modifiées par le fait qu'on l'ai frotté.*

Nous pouvons faire la même expérience en remplaçant l'ambre par du verre. On constate le même résultat. Là ou ça devient intéressant, c'est que si vous approchez les deux tiges (de verre et d'ambre) en même temps, il ne se passe rien.

On peut alors émettre l'hypothèse que dans ce cas précis, chaque tige a annulé l'effet de l'autre. On va dire, par convention, que le verre contient de l'électricité positive, et que l'ambre contient de l'électricité négative. Ce serait pour cela que si on approche deux tiges frottées en même temps, on ne constate rien, c'est possible, mais il faut vérifier cette hypothèse par une autre expérience.



Dans cette deuxième expérience, on met une des boules en contact avec de l'ambre et l'autre avec du verre. Puis on constate qu'elles s'attirent. Ensuite, on refait la même expérience, mais en les mettant en contact avec la même substance (dans le dessin ci-dessus c'est de l'ambre mais ça peut être du verre : on constate le même résultat), on constate alors qu'elles se repoussent (entre les deux expériences, il faut évidemment décharger les deux boules).

Ceci prouve plusieurs choses :

1. il y a bien deux «sortes» d'électricité différentes,
2. l'électricité peut passer d'un corps à l'autre par simple contact,
3. les phénomènes électrostatiques sont attractifs ou répulsifs.

On suppose alors que puisque l'électricité peut passer d'un corps à l'autre, «quelque chose» de concret passe grâce au contact.

En utilisant des balances extrêmement précises, on ne parvient pas à mettre en évidence une variation de masse entre un objet au moment où il est électrisé et au moment où il ne l'est pas.

On émet alors l'hypothèse qu'il existe des particules dans la matière, libre de se déplacer d'un corps à l'autre, et portant une certaine charge électrique  $q$ , positive ou négative, et de plus, ces particules doivent être suffisamment légères vu qu'on ne constate pas de variation de masse.

## 2.2 Loi de Coulomb

Remarquez ici l'introduction d'une quantité  $q$  ( la «charge électrique ») qui est une quantité relative à la «quantité d'électricité» (pour l'instant on raisonne intuitivement) dans un corps. Si le corps n'est pas électrisé, on écrit  $q = 0$ . Dans le cas contraire,  $q$  a une certaine valeur, positive ou négative.

Supposons que nous avons une charge électrique de référence, disons par exemple  $q$ . On a deux autres charges  $q_1$  et  $q_2$ . On approche  $q_1$  de  $q$  et on mesure une force électrique  $F_1$  (attraction ou répulsion, peu importe). Ensuite, on fait la même chose avec  $q_2$ , et on mesure  $F_2$ .

Nous dirons, *par convention*, que la force est proportionnelle à la charge électrique (il faut bien se baser sur quelque chose pour définir la charge électrique). On a donc ( $k_q$  est une constante qui dépend de  $q$ ) :

$$F_1 = k_q q_1$$

de même que :

$$F_2 = k_q q_2$$

Ensuite, on se peut se demander ce qui se passe quand on met en présence uniquement  $q_1$  et  $q_2$ , on aura une force à la fois proportionnelle à  $q_1$  et à  $q_2$  :

$$F = k q_1 q_2$$

Il reste une constante  $k$  qui n'est pas vraiment une constante car on n'a pas encore pensé à une chose : la distance entre  $q_1$  et  $q_2$ . Plus cette distance est grande, plus la force électrique est faible.

Le physicien Français Coulomb a fait une série d'expériences sur la force électrique et a montré que cette force était inversement proportionnelle à la distance entre les charges, de plus la force est dirigée selon la droite qui relie les deux charges (même remarque qu'en mécanique : on considère des corps ponctuels).

En regroupant toutes les remarques précédentes on arrive à la conclusion :

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ou  $r$  est la distance entre les charges et  $K$  une constante universelle.

Mais ça n'est pas tout. Pour des raisons de simplicité (pour des formules plus complexes tels que les équations de Maxwell) on pose :

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi K}$$

et donc finalement (j'en profite pour mettre la forme vectorielle) :

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}$$

C'est la loi de Coulomb.

L'unité que l'on a donné à la charge est, justement, le Coulomb. En réalité, ce n'est pas une unité «de base» comme la seconde par exemple, mais on ne peut encore la définir à ce stade car il faut connaître la définition de l'ampère pour cela.

$\varepsilon_0$  est la permittivité électrique du vide et est à peu près égale à  $8,85 \cdot 10^{-12} C^2 N^{-1} m^2$  ce qui entraîne que  $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 NC^{-2} m^{-2}$ . On dit bien du vide, car dans un autre milieu comme l'air, la permittivité est différente (la formule ci dessus n'est valable que dans le vide).

Dans un milieu quelconque, la permittivité électrique est toujours un plus élevée que dans le vide. On a donc une coefficient  $\varepsilon_r$ , la permittivité électrique relative, tel que :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

Ainsi on connaît la valeur de  $\varepsilon_r$  pour tout les milieux possibles, et quand, dans la pratique, on a besoin de calculer une permittivité, on consulte une table de permittivité électrique relative.

### 2.3 Structure de la matière

Revenons un instant sur une remarque faite plus haut à propos d'hypothétiques particules porteuses d'électricité. En 1909, une expérience de Robert Milikan montre que toute charge électrique est quantifiée. Qu'est ce que cela veut dire? Tout simplement que si on a une charge  $q$  donnée, on a toujours :

$$q = n \cdot e$$

ou  $n$  est un nombre entier, et  $e$  une constante approximativement égale à  $1,6 \cdot 10^{-19} C$ . Ce résultat valide l'hypothèse de particules porteuses d'électricité.

Avant même le résultat de Milikan, en 1897, le physicien Joseph John Thomson découvre l'existence de l'électron. Il faisait des expériences sur les rayons cathodiques : ces «rayons», très étudiés à l'époque, méritent une petite parenthèse.

Ils furent découverts en 1876. Une simple expériences permet de les observer. On a un tube dans lequel on fait le vide le plus parfait possible, et dans ce tube, deux électrodes : l'une positive et l'autre négative. Dans le tube, une lueur violacée apparaît. Ce sont les rayons cathodiques. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est que ces rayons proviennent de la matière elle-même (ici d'une cathode). Ce qui constitue ces fameux rayons se trouve donc *dans* la matière en temps «normal».

Beaucoup d'expériences ont été faites. Thomson a montré que les rayons cathodiques sont en fait constitués de petites particules, légères, et chargées négativement. On les a appelées «électrons».

Ce résultat ainsi que celui de Milikan montre que les électrons sont responsables du fait que l'électricité puisse passer d'un corps à l'autre. Ils ont évidemment une charge égale à  $-1,6 \cdot 10^{-19} C$ , la charge élémentaire calculée par Milikan. Ils sont présents partout, dans tout les objets de la vie courante.

Maintenant, il est évident que la matière n'est pas constituée uniquement d'électrons, sinon tout les objets du monde seraient chargés négativement. Diverses réflexions sur les fluides ont conduits bon nombres de chimistes a émettre l'hypothèse que la matière est constituée d'atomes, en particulier John Dalton. Il pensait que les atomes sont indivisibles, comme Démocrite avant lui. Thomson connaissaient la théorie atomique

quand il a découvert l'électron, cette théorie était acceptée par tous à cette époque, et il devait en tenir compte.

Il imagina donc un nouveau modèle atomique. Il imagina que les atomes sont des sortes de «billes» chargées positivement avec des électrons «enfoncés» dedans, à la manière d'un pain aux raisins, ou les raisins représentent justement les électrons. Puisque les électrons sont «collés» à une «substance» positive, l'atome est globalement neutre (en temps «normal» on constate tous que la matière est neutre, on n'observe pas en permanence des phénomènes électrostatiques).

Certaines réflexions théoriques ont conduit Rutherford à modifier cette vision de l'atome. Il affirme alors qu'en réalité les atomes ont un noyau chargé positivement autour duquel tournent les électrons, maintenus sur leur orbite par la force de Coulomb (tout comme la force gravitationnelle maintient la lune en orbite autour de la terre).

Ces réflexions sur la structure de la matière pourront nous aider par la suite.

## 2.4 Le champs électrique

Imaginons une charge  $q$  en un point donné de l'espace. Si on approche une autre charge dans un certain volume entourant la charge  $q$ , on va constater une force de Coulomb.

Cette simple constatation peut paraître banale. Mais le caractère apparemment non-local de ce phénomène pose question. Puisque les objets chargés se comportent différemment au voisinage de la charge  $q$ , cela veut tout simplement dire que les propriétés de l'espace ont été modifiées par la charge. On dit que la charge crée un *champs électrique*.

On va donc dire qu'à chaque point de l'espace autour de  $q$ , il existe un vecteur  $\vec{E}$ , le vecteur champs électrique. Le champ électrique est donc un champs vectoriel.

On va donc poser que :

$$\vec{F} = q_1 \vec{E}(M)$$

Où  $\vec{F}$  est évidemment la force de Coulomb, et  $q_1$  la charge qui subit la force au point  $M$  (car plongée dans le champs électrique).

En identifiant avec la formule de Coulomb, on obtient :

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{u}$$

Désormais, on utilisera tout le temps cette notion.

On peut se demander ce qui se passe quand il y a plusieurs charges au lieu d'une, quel est le champs engendré par cet ensemble de charges ?

La réponse est simple : il faut en tout point additionner les vecteurs champs : c'est le principe de superposition.

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i$$