

Chapitre 1

A. ÉLECTROSTATIQUE

I. GENERALITES

I.1. Introduction

L'électrostatique est la branche de la physique qui étudie les phénomènes (champ et potentiel électrostatique) créés par des charges électriques statiques pour l'observateur. Les forces électrostatiques sont décrites par la loi de Coulomb qui présente une certaine analogie avec l'interaction gravitationnelle.

I.2. Charges électriques élémentaires

En frottant un objet sur un autre, il y a échange de charges. Un objet perd des électrons au profit de l'autre. L'objet se retrouve chargé, ou ionisé, et peut ainsi attirer ou repousser un autre objet chargé. Notons que cette action (attraction ou répulsion) peut se faire sans contact. C'est une action à distance. Nous verrons plus loin comment écrire cette action.

Les propriétés électriques de la matière trouvent leur principe au niveau de l'atome. La matière est constituée d'atomes. Chaque atome est constitué d'un noyau, autour duquel gravite un nuage formé d'électrons. Ces électrons se repoussent entre eux mais restent positionnés autour du noyau. Le noyau est constitué de **protons**, qui portent des charges positives, et de **neutrons** qui sont dépourvus de charge. L'ensemble des particules qui forment le noyau s'appelle **nucléons**.

Les électrons et les protons portent la même charge électrique en valeur absolue qu'on note par e . Cette charge électrique est appelée la charge élémentaire de la charge électrique dont la valeur est :

$$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ (C)} \quad (\text{I-1})$$

Toutes les autres charges sont des multiples entiers de la charge élémentaire. Nous dirons que la charge est **quantifiée**.

$$Q = \pm n \cdot e \text{ (C)} \quad (\text{I-2})$$

La force électrique qui s'exerce entre les protons, chargés positivement, et les électrons, chargés négativement, est responsable de la cohésion des atomes et les molécules. La charge totale des atomes non ionisés (c'est -à-dire qui n'ont ni perdu ni gagné d'électron) est nulle.

Ceci traduit le principe fondamental de la quantification de la charge électrique.

Les deux types de matériaux :

1. **Les isolants ou diélectriques** : Pour ce type matériaux l'électrisation reste localisée à l'endroit où on l'a créée.
2. **Conducteurs** : Pour ce type matériaux l'électrisation se répand dans tout le corps.

• **Electrisation par frottement :**

Considérons deux matériaux neutres : une tige en verre et morceau de soie comme il est montré sur la figure I-1 :

Avant frottement les deux matériaux sont

neutres. Un simple frottement de la tige de verre avec la soie entraîne un arrachement des électrons de leurs atomes accompagné d'un transfert de ces électrons vers le morceau de soie. La tige devient chargée positivement et la soie négativement. Les deux corps sont dits électrisés ou chargés d'électricité.

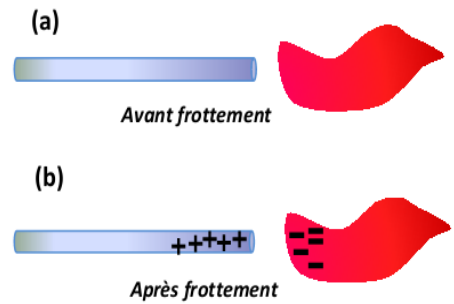


Figure I-

1

On appelle ce phénomène l'électrisation par frottement.

• **Electrisation par influence :**

Considérons la configuration présentée sur la figure I-2. La boule chargée positivement influence sur les électrons libres dans la tige conductrice. Elle les attire vers elle et « repousse » les charges positives vers l'autre côté. En fait, les charges positives ne se sont pas repoussées mais la migration des électrons, sous l'influence de la charge de la boule, laisse les atomes perdant de charges négatives comme des ions positifs.

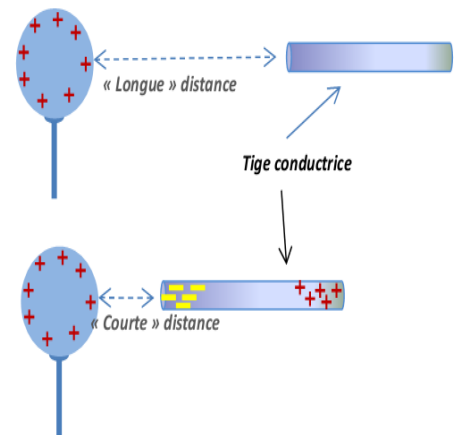


Figure I-2

On appelle ce phénomène l'électrisation par influence.

Les deux types d'électricité : Approche historique deux groupes de matériaux électrisés qui s'attirent ou se repulsent mutuellement.

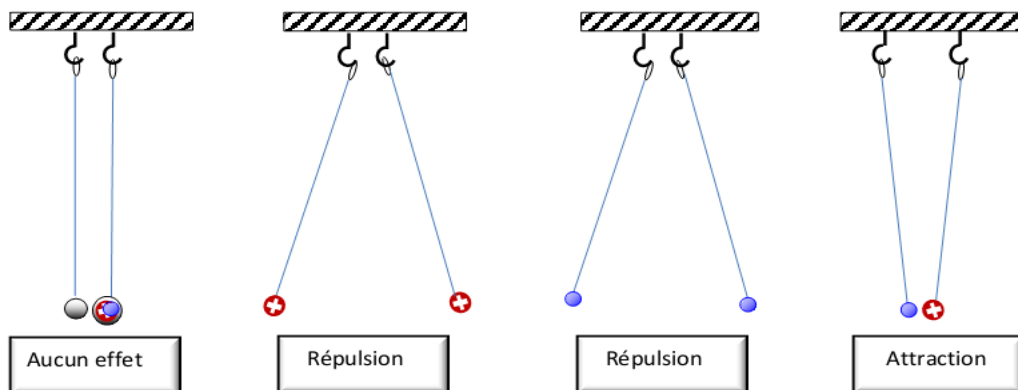


Figure I-3 Types des interactions entre différentes particules : signifie l'un des charges positive ou négative

Explication.

- **Positive** : elle est expliquée microscopiquement par un manque d'électrons
- **Négative** : elle est expliquée microscopiquement par un excès d'électrons
- **Remarque** : un corps non électrisé est dit neutre.

Transfert d'électrons : Notion d'atome, explication du processus d'électrisation au niveau atomique, les types de charges, et les types de matériaux.

Affinité électronique : Au niveau atomique (Na⁺Cl⁻), au niveau macroscopique : séries triboélectriques exemple : poil de lapin – verre – mica – laine – poil de chat – soie – bois – ambre – résine – soufre – ébonite – celluloid.

Principe de la conservation de la charge électrique : « La charge électrique totale contenue dans un système isolé, i.e. la somme algébrique des charges positive et négative présentes à chaque instant reste constante. »

Charge ponctuelle : (en réalité elle n'existe pas) « On considérera qu'une charge est ponctuelle si les dimensions du corps qui la porte sont petite par rapport aux distances considérées dans le problème étudié. »

II. INTERACTION ELECTROSTATIQUE – LOI DE COULOMB

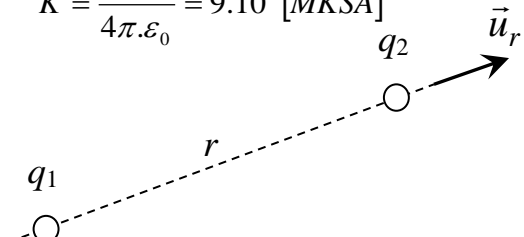
Pour faire la mesure quantitative de la force d'attraction ou de répulsion électrique entre deux corps chargés, nous pouvons réaliser le montage de la figure. Considérons deux charges ponctuelles q_1 et q_2 placées dans le vide. La première exerce sur la seconde une force proportionnelle à sa charge q_1 . Réciproquement, la seconde exerce sur la première une force proportionnelle à sa charge q_2 . On en déduit que la force entre deux charges ponctuelles appelée force électrostatique est proportionnelle au produit de leurs charges $q_1 \cdot q_2$ qui s'exprime par :

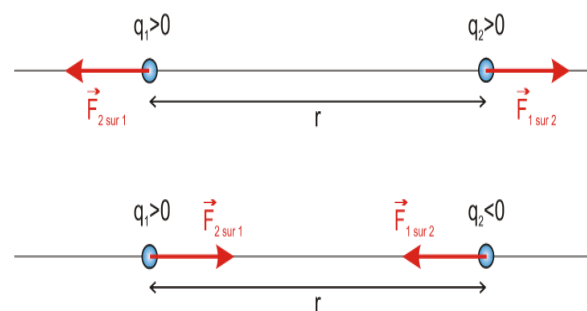
La force électrique exercée par la charge q_1 sur la charge q_2 placées toutes les deux dans le vide est donnée par la loi:

Vectorielle:

$$\vec{F}_1 = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}_r = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}_r [N]$$

où

$$K = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 [MKSA]$$




r étant la distance entre les deux charges.

K est une constante. ϵ_0 est appelée la permittivité du vide.

Et \vec{u}_r est un vecteur unitaire dirigé suivant r .

Scalaire :

$$F_1 = K \cdot \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} [N]$$

Discussion :

$q_1 \cdot q_2 > 0$: les deux charges sont de même signe \rightarrow il y a répulsion, la force F_1 éloigne les deux charges.

$q_1 \cdot q_2 < 0$: les deux charges sont de signes contraires \rightarrow il y a attraction, la force F_1 rapproche les deux charges.

D'après le principe de l'action et de la réaction $F_{q1} = -F_{q2}$.

Remarque sur l'ordre de grandeur des charges : Dans le système MKSA le Coulomb est une très grande charge (deux charges opposées de 01 Coulomb chacune et distante de 1 m l'une de l'autre, s'attirent avec une force de $9 \cdot 10^9$ N ce qui est l'équivalent du poids d'un immeuble de 900 000 tonnes) ce qui nous mène à introduire des sous multiples du Coulomb, micro Coulomb (μ C), nano Coulomb (nC) ou pico Coulomb (pC).

Remarque sur l'ordre de grandeurs des forces électrostatiques et gravitationnelles.

Au niveau microscopique : exemple de l'atome d'Hydrogène = un électron et un proton séparés par une distance a_0

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} ; m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} ; m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} ; g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2} ; a_0 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m} ; K = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

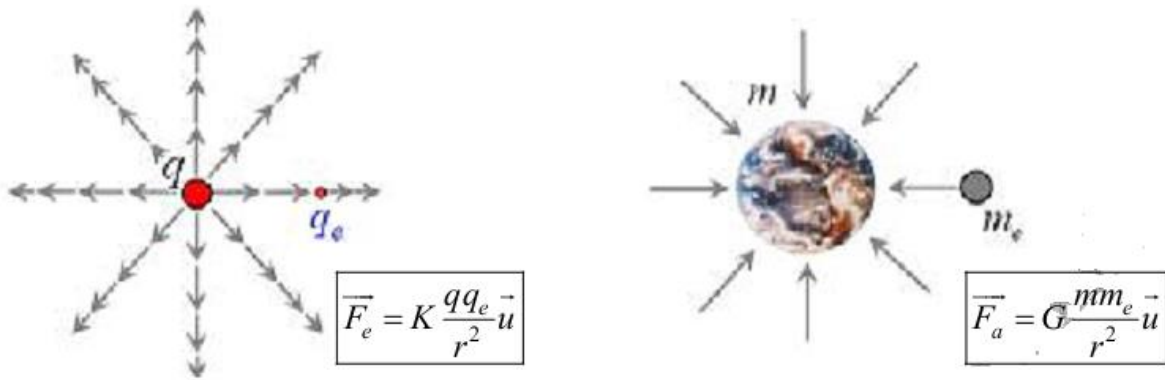
$$\text{Force coulombienne} \quad F_c = 10^{-7} \text{ N}$$

$$\text{Force gravitationnelle} \quad F_g = 4 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

$$\text{Poids de l'électron} \quad P_e = 9 \cdot 10^{-30} \text{ N} \quad \text{Poids du proton} \quad P_p = 1,6 \cdot 10^{-26} \text{ N}$$

Au niveau macroscopique : les forces gravitationnelles sont plus grandes en générale que les forces électrostatiques (charges faibles, et distances grandes).

L'expression de la loi de Coulomb nous rappelle celle de la force de l'attraction universelle que nous avons rencontrée dans le cours de mécanique. A l'exception de la valeur numérique de la constante K, cette loi a exactement les mêmes caractéristiques vectorielles que celles de la force d'attraction universelle (loi de Newton). C'est pour cette raison qu'il n'est pas étonnant de trouver une similitude entre les deux forces.



Comparaison entre la force newtonienne et la force Coulombienne

Exemple 1.1:

Quel est le rapport entre la force newtonienne de l'attraction universelle et la force coulombienne de répulsion entre deux électrons ?

Réponse :

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{\frac{K e^2}{r^2}}{G \frac{m_e^2}{r^2}} = \frac{K \cdot e^2}{G \cdot m_e^2}; \frac{F_e}{F_g} \approx 4.10^{42}$$

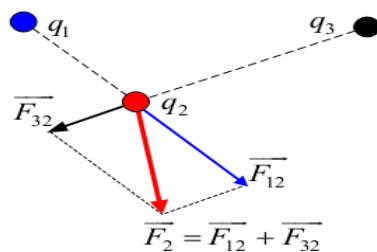
Remarque sur la validité de la loi de Coulomb : Cette loi n'est valable que pour des charges fixes ou en mouvement lent, elle est correcte au milliardième sur des distances allant jusqu'au centimètre ou quelques mètres.

Remarque :

Dans le cas général, si on a n charges électriques dans le vide, **le principe de superposition** permet de faire la somme vectorielle des forces électrostatiques. Ce principe n'est valable que dans le seul cas de charges au repos.

Exemple 1.2:

Considérons trois charges ponctuelles q_1 , q_2 et q_3 ; Quelle est la force \vec{F}_2 que subit la charge q_2 placée en présence des charges q_1 et q_3 ?



Principe de superposition des forces

On montre que la force totale s'écrit : $\vec{F}_2 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32}$

La loi de Coulomb permet de calculer la force \vec{F}_{12} subie par la charge q_2 lorsqu'elle est uniquement en présence de q_1 . On peut de la même manière calculer \vec{F}_{32} , force subie par q_2 lorsque seule q_3 est en présence de la charge q_2 .

L'expérience montre que la force \vec{F}_2 subie par q_2 lorsqu'elle est en présence des deux charges q_1 et q_3 est la somme vectorielle des forces \vec{F}_{12} et \vec{F}_{32} :

$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_{12} + \frac{q_3 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_{32}$$

Ce résultat est vérifié quel que soit le nombre de charges en présence. La force \vec{F} subie par une charge q placée en M , en présence de n charges $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n$ fixées en $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$ est la somme vectorielle des forces dues à l'interaction de chacune des charges avec q , calculées séparément :

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = q \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_i$$

Exemple 1.3:

A partir de la figure, calculer l'intensité de la résultante agissant sur la charge q_3 .

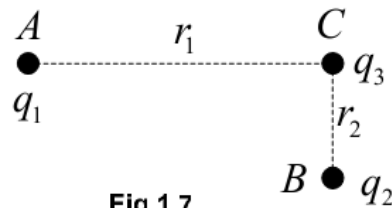


Fig 1.7

$$q_1 = -1,5mC \ ; \ q_2 = 0,5mC \ ; \ q_3 = 0,2mC$$

$$r_1 = AC = 1,2m \ , \ r_2 = BC = 0,5m$$