

Électrostatique

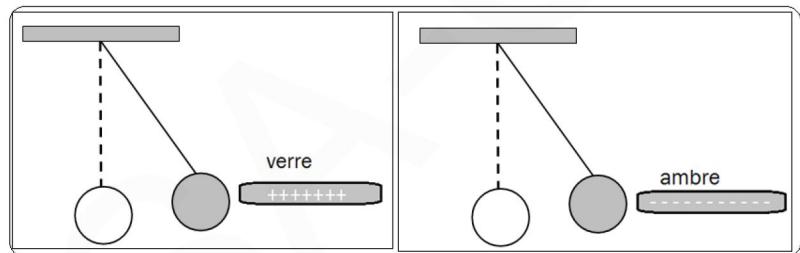


I- Phénomènes électrostatiques : notion de charge électrique

- 1-. Des papiers bien secs peuvent être attirés par une tige en plastique préalablement frottée avec un tissu.
2. L'enfilage de certains vêtements fait apparaître de l'électricité dite statique qui se manifeste par le hérissement des poils et des cheveux.
3. Des cheveux secs se dressent lors du passage d'un peigne.

Expérience 1 :

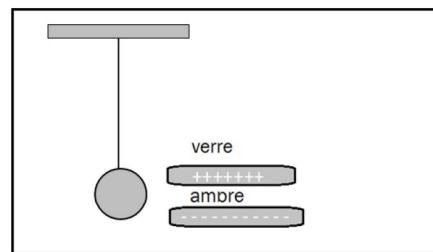
Prenons une boule en polystyrène et suspendons-la par un fil. Approachons une tige en verre de la boule, après l'avoir frottée avec une fourrure (figure 1) ; la tige attire la boule.



(Figure 1)

Répétons l'expérience avec une tige d'ambre après l'avoir frottée préalablement (figure 1): la tige attire la boule.

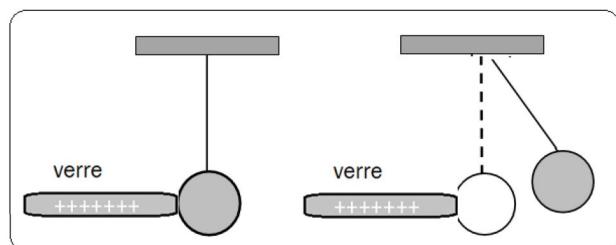
Approchons ensuite de la boule, à la fois les deux tiges côté à côté (figure 2): la boule ne bouge pas.



(Figure 2)

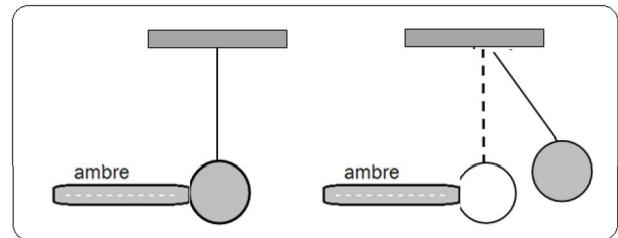
Tout se passe donc comme si chacune des tiges était, depuis son frottement, porteuse d'électricité, mais que celle-ci pouvait se manifester en deux états contraires et capables d'annuler les effets de l'autre.

On refait l'expérience mais cette fois-ci en touchant la boule avec la tige de verre frottée avec une fourrure (figure 3),



(Figure 3)

ensuite avec la tige d'ambre frottée avec une fourrure (figure 4), on remarque que dans les deux cas la boule s'éloigne de la tige, preuve qu'elle a obtenu les mêmes propriétés électriques de la tige.

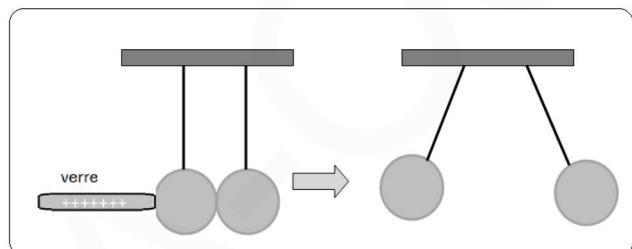


(Figure 4)

Pour différencier entre la nature électrique de la tige de verre et celle la tige d'ambre, on fait l'expérience suivante :

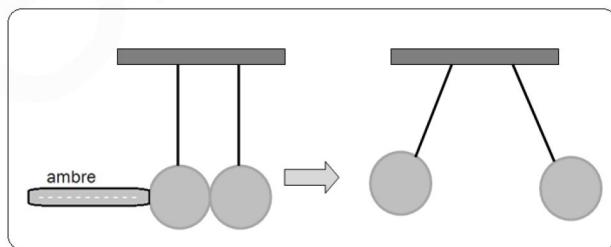
On considère deux boules rapprochées chacune suspendue à un fil.

On touche les deux boules avec la tige du verre frottée et on la retire (figure 5), les deux boules se repoussent.



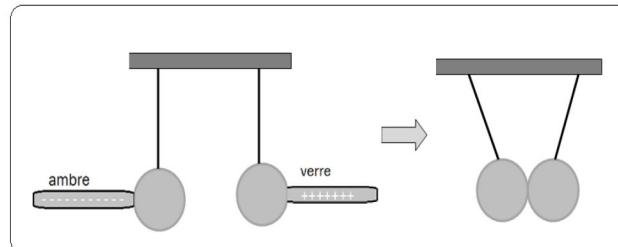
(Figure 5)

On touche ensuite les deux boules avec la tige d'ambre frottée et on la retire (figure 6), les deux boules se repoussent.



(Figure 6)

On touche une boule avec la tige de verre et l'autre avec la tige d'ambre et on les retire (figure 7), les deux boules s'attirent mutuellement.



(Figure 7)

Conclusion : il existe deux états correspondant à deux types de charges électriques, auxquelles correspondent deux types d'interaction électrique ; attractive ou répulsive.

Deux corps qui portent la même charge électrique positive ou négative se repoussent.

Deux corps qui portent des charges électriques opposées s'attirent.

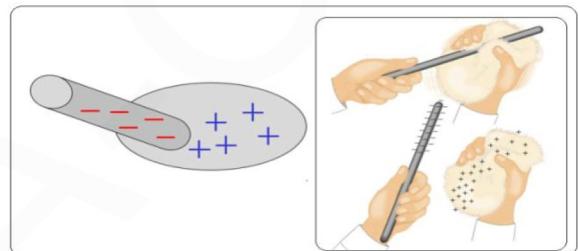
I-1- Electrisation des corps

L'électrisation d'un corps, peut se faire de trois manières ;

- par frottement.
- par influence.
- par contact.

1- Électrisation par frottement (triboélectricité)

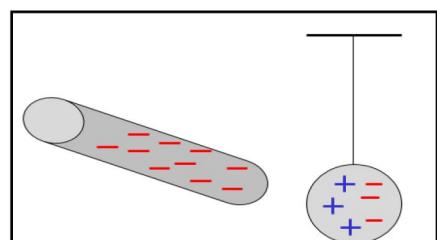
On frotte un bâton de PVC (ou d'ébonite) avec un morceau de fourrure (figure 8), Il se charge alors négativement, tandis que la fourrure aura perdu des électrons, elle se charge positivement. L'ensemble des deux (le bâton et la fourrure) reste globalement neutre



(Figure 8)

2- Électrisation par Influence

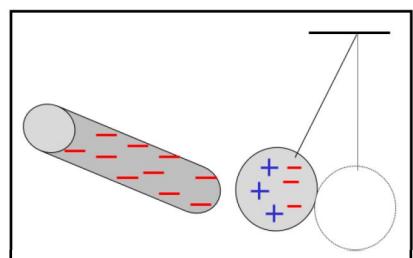
On approche un bâton de PVC chargé négativement d'une boule neutre (figure 9). Les électrons de la sphère sont alors repoussés vers la droite, et les charges positives sont attirées du côté du bâton, il y a répartition des charges, mais la boule reste globalement neutre.



(Figure 9)

Attraction de la boule

Le pendule est alors attiré par le bâton de PVC (figure 10), suite aux de forces électrostatiques entre les charges positives de la boule et des charges négatives du bâton.

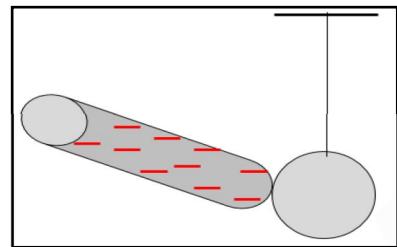


(Figure 10)

remarque; lors de l'électrisation de deux corps conducteurs par influence le nombre de charge de chaque conducteur reste inchangé.

3- Électrisation par contact

On approche un bâton en PVC chargé négativement d'une boule en aluminium conductrice (figure 11), des charges passent du bâton dans la boule.

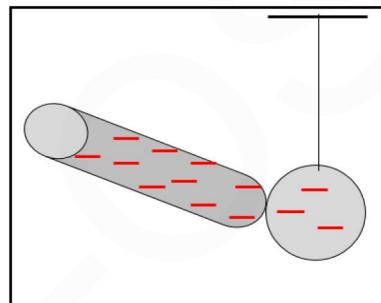


(Figure 11)

Transfert de charges ; des charges passent du bâton dans la boule (figure 12)

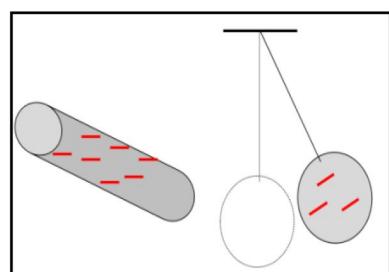
Répulsion de la boule

La boule s'éloigne alors du bâton de pvc suite à une répulsion entre les charges négatives (figure 13)



(Figure 12)

remarque ; lors de l'électrisation par contact il y a échange de charges entre les deux corps, c'est-à-dire que les charges finales des deux corps seront différentes de leurs charges initiales.



(Figure 13)

Conservation de la charge

Une tige de verre frottée avec de la soie, devient électrisée positivement. Cela veut dire que la tige a perdu des électrons, ces électrons perdus sont reçus par la soie. Ce qui traduit que la charge totale du système tige-soie est resté la même avant et après l'électrisation. Ceci est appelé le principe de la conservation de la charge pour un système isolé.

I-2 Quantification de la charge électrique

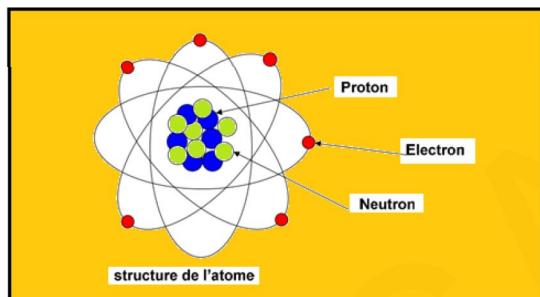
Dans son expérience sur des gouttes d'huile électrisées, le physicien Robert A. Millikan a montré que toute charge électrique q est quantifiée, c'est à dire qu'elle n'existe que sous forme de multiples d'une charge élémentaire indivisible e : $q = n.e$

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb.}$$

e = la charge d'un électron.

I-3 Constitution de la matière

La matière est un ensemble d'atomes, un atome est constitué d'un noyau chargé positivement autour duquel gravitent des électrons chargés négativement (figure 14). La charge du noyau et celles de tous les électrons sont égales. L'atome est donc électriquement neutre.



(Figure 14)

Les électrons des couches internes sont fortement liés au noyau ; par contre les électrons périphériques le sont moins. Ces derniers peuvent être arrachés par frottement. le frottement de deux corps, électriquement neutres, l'un contre l'autre, engendre un transfert d'électrons de l'un vers l'autre perdant ainsi leur électroneutralité. Le corps qui a cédé des électrons se charge positivement, celui qui en a reçu se charge négativement.

I-4 Charge ponctuelle

C'est une charge dont les dimensions sont négligeables par rapport aux distances d'interaction.

I-5 Corps Conducteurs et corps isolants

Les corps sont classés en deux types :

a- Isolants ou diélectriques : Ce sont des matériaux dont les charges ont une mobilité réduite et elles sont localisées en zone de production.

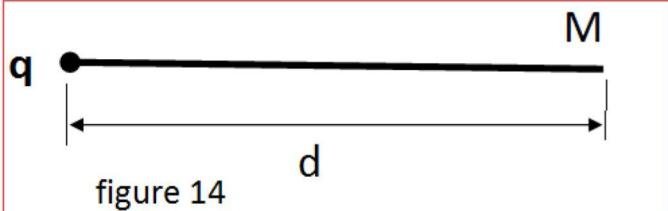
Exemple : le bois, les plastiques, le verre...

b- Conducteur : ce sont des matériaux dont les charges ont une grande mobilité et qui se répartissent uniformément sur tout le corps. Exemple : métaux.

II- Champ électrostatique créé par une charge q

Une particule de charge q située en O crée en tout point M de l'espace (figure 14) un champ électrostatique donné par :

$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \vec{u}$$



En module le champ est :

$$E = k \times \frac{|q|}{r^2}$$

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r$$

ϵ = permittivité du milieu.

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ (SI)}$$

ϵ_0 = permittivité relative du vide.

dans le cas du vide la valeur de (k) est égale à

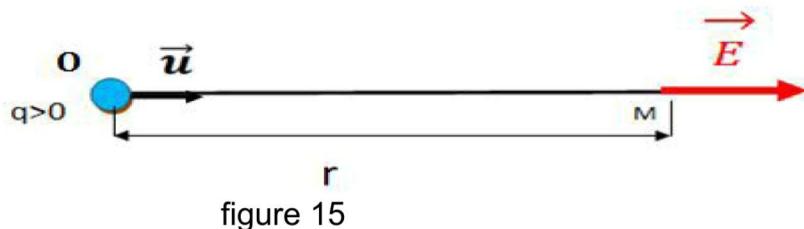
$$k = \frac{1}{4 \times \pi \times 8,85 \times 10^{-12}} \rightarrow k = 9 \times 10^9 \text{ (SI)}$$

L'unité du champ électrique est le Newton par Coulomb : [N/C] ou le Volt par mètre [V/m]

Caractéristiques du champ électrostatique :

1. Module.
2. Point d'application (le point M).
3. Direction (OM).
4. Sens (entrant ou sortant).

➤ Si la charge est positive le champ est sortant (figure 15)



- Si la charge est négative le champ est entrant (Figure 16)

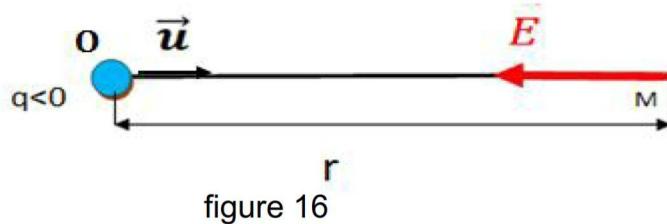


figure 16

III- Champ créé par plusieurs charges

Soient trois charges q_1 , q_2 et q_3 placées respectivement aux points A , B et C (Figure 17).
exprimer le champ résultant au point M .

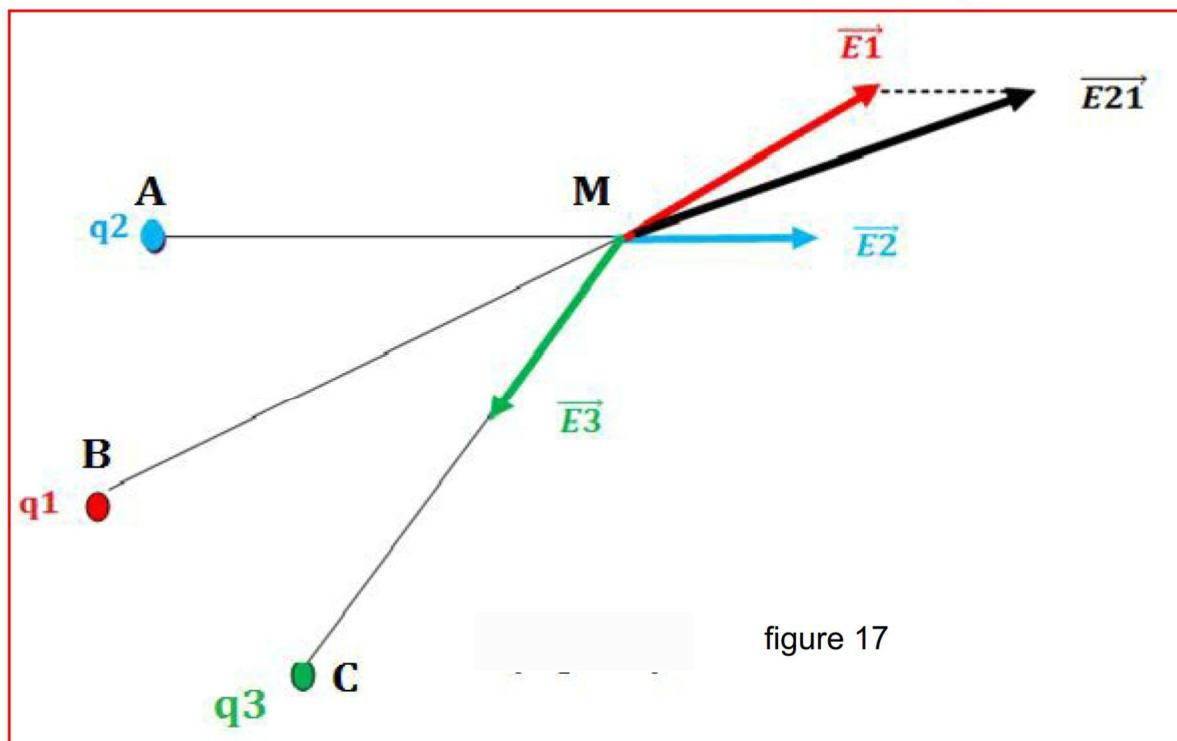


figure 17

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \quad \vec{E}_{21} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_{21} = \sqrt{(\lvert \vec{E}_1 \rvert)^2 + (\lvert \vec{E}_2 \rvert)^2 + 2 \lvert \vec{E}_1 \rvert \cdot \lvert \vec{E}_2 \rvert \cos(\vec{E}_1, \vec{E}_2)} \quad \vec{E} = \vec{E}_{21} + \vec{E}_3$$

$$E = \sqrt{(\lvert \vec{E}_{21} \rvert)^2 + (\lvert \vec{E}_3 \rvert)^2 + 2 \lvert \vec{E}_{21} \rvert \cdot \lvert \vec{E}_3 \rvert \cos(\vec{E}_{21}, \vec{E}_3)}$$

cas particuliers

$$1 \text{ cas ; } \vec{E}_1 \text{ et } \vec{E}_2 \text{ même sens} \quad E = E_1 + E_2$$

2 cas ; \vec{E}_1 et \vec{E}_2 de sens opposés $E = |E_1 - E_2|$

IV- Potentiel créé par une charge

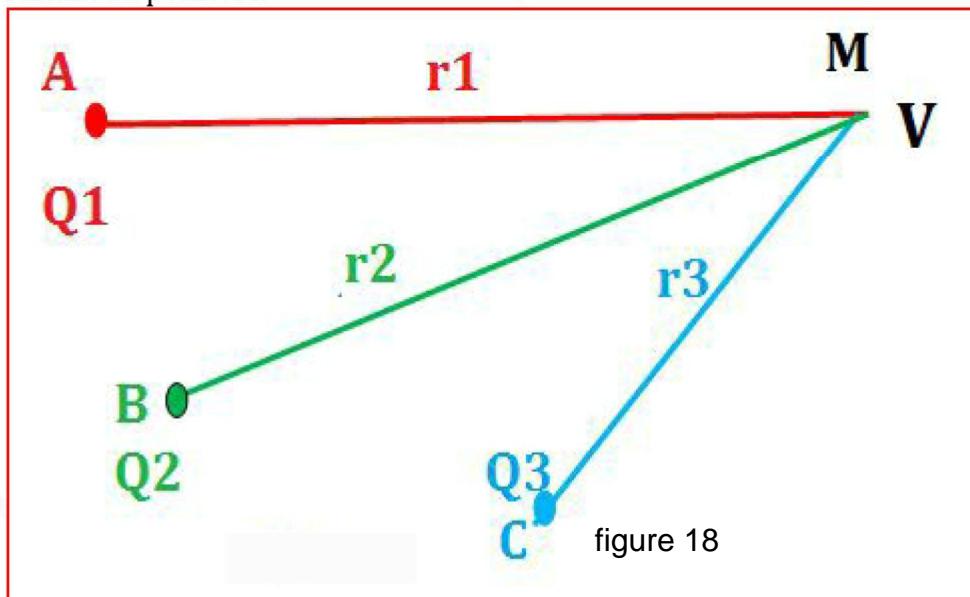
Une particule de charge q située en un point O , crée en tout point M de l'espace un potentiel électrostatique donné par (Figure5) :

$$V = k \frac{q}{r}$$

L'unité du potentiel électrique est le Volt [V]

V- Potentiel créé par plusieurs charges

Soient trois charges q_1 , q_2 et q_3 placées respectivement aux points A , B et C (figure18) exprimer le potentiel résultant au point M .



$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_2}{r_2} + k \frac{q_3}{r_3}$$

VI- Forces s'exerçant sur une charge

Soit une charge q placée en un point où le champ électrostatique est \vec{E} elle est alors soumise à une force donnée par :

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

En module la force est :

$$F = |q|E$$

- Si $q > 0$: \vec{F} et \vec{E} ont le même sens (figure 19-1)



Figure 19-1

- Si $q < 0$: \vec{F} et \vec{E} ont des sens opposés figure 19-2)

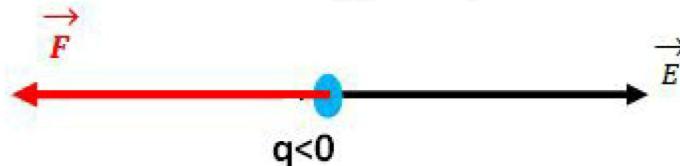
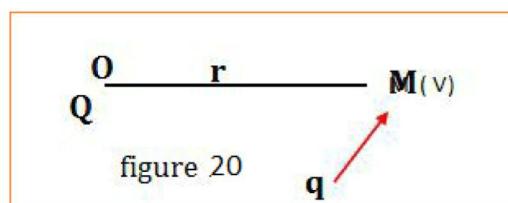


figure 19-2

VI |- Energie potentielle d'une charge q placée en un point M où le potentiel est V

Soit une charge q placée en un point un point où le potentiel est V (figure 20).



L'énergie potentielle de q est donnée par :

$$Ep = q.V$$

Avec V , le potentiel crée par la charge Q au point M $V=k Q/r$

VII- Loi de coulomb

Soient deux charges électriques séparées par une distance r , elles s'exercent mutuellement la même force donnée par :

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}$$

En module la force est :

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

- ❖ Si les deux charges sont de mêmes signes \longrightarrow répulsion (figure 21).

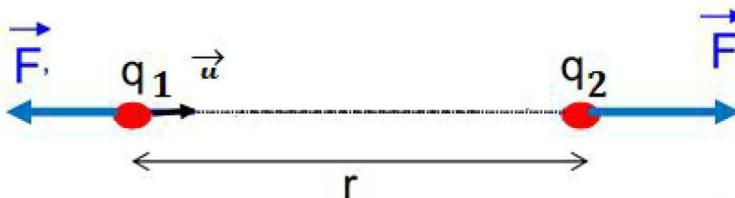


figure 21

- ❖ Si les deux charges sont de signes opposés \longrightarrow attraction (figure 22).

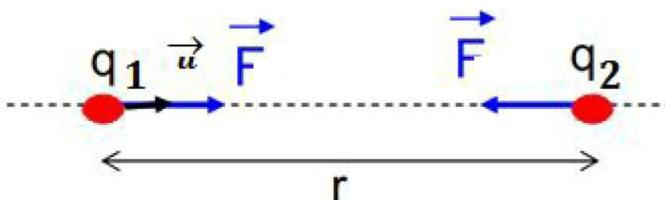


figure 22

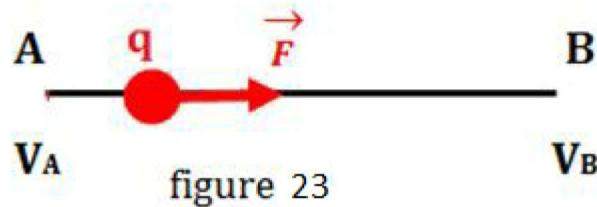
Remarque : La loi de Coulomb est valable pour des charges immobiles, ou en mouvement très lent.

IX- Travail de la force electrostatique

Soit une charge électrique qui se déplace entre deux points A et B, de potentiels respectifs V_A et V_B (figure 23). Le travail effectué par la force électrique est indépendant du chemin suivi ; il est donné par :

$$W_{A-B} = -\Delta E_p$$

$$W_{A-B} = E_p_A - E_p_B \quad W_{A-B} = q \cdot V_A - q \cdot V_B \quad W_{A-B} = q \cdot (V_A - V_B)$$



X- L'énergie interne d'un système de plusieurs charges

L'énergie interne U d'un système de plusieurs est donné par ;

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

Si $U > 0$ le système est instable.

Si $U < 0$ le système est stable.

Exemple : cas de trois charges (figure 24).

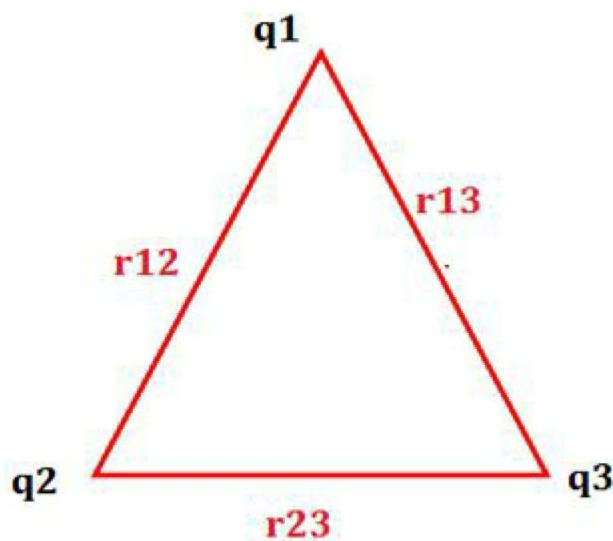


figure 24

$$U = k \left(\frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 \cdot q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 \cdot q_3}{r_{23}} \right)$$

METHODE DE CALCUL

$$U = k \sum \frac{\text{produit des charges prises 2 à 2 sans répétition}}{\text{distance entre les 2 charges}}$$

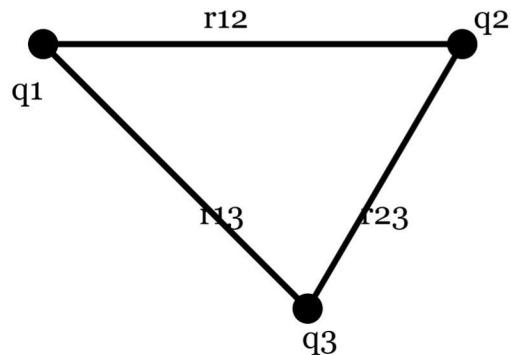
1- Cas de 2 charges

$$U = k \frac{(q_1 \times q_2)}{r}$$



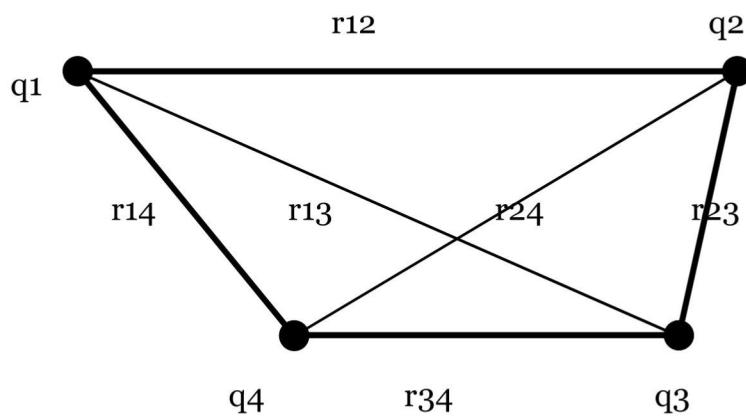
2- Cas de 3 charges

$$U = k \left[\frac{(q_1 \times q_2)}{r_{12}} + \frac{(q_1 \times q_3)}{r_{13}} + \frac{(q_2 \times q_3)}{r_{23}} \right]$$



3- Cas de 4 charges

$$U = k \left[\frac{(q_1 \times q_2)}{r_{12}} + \frac{(q_1 \times q_3)}{r_{13}} + \frac{(q_1 \times q_4)}{r_{14}} + \frac{(q_2 \times q_3)}{r_{23}} + \frac{(q_2 \times q_4)}{r_{24}} + \frac{(q_3 \times q_4)}{r_{34}} \right]$$



XI- Relation entre potentiel et champ électrostatique

Le champ et le potentiel électriques sont liés par la relation :

Dans le cas unidimensionnel

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

Dans le cas général

$$\vec{E} = -\nabla V$$

- Les lignes de champs sont toujours perpendiculaires aux surfaces équipotentielles. (figure 25)
- La ligne de champ est toujours orientée dans le sens des potentiels décroissant.
- Le vecteur champ électrique est toujours tangent à la ligne de champ.(figure 26)
- Une ligne de champ est la trajectoire que suit la charge dans son déplacement.
- Une surface (ligne) équipotentielle est une surface (ligne) pour laquelle le potentiel est constant en tout point.
- Dans le cas de deux charges les lignes de champs ne sont pas droites , elles sont curvilignes.

(figure 27)

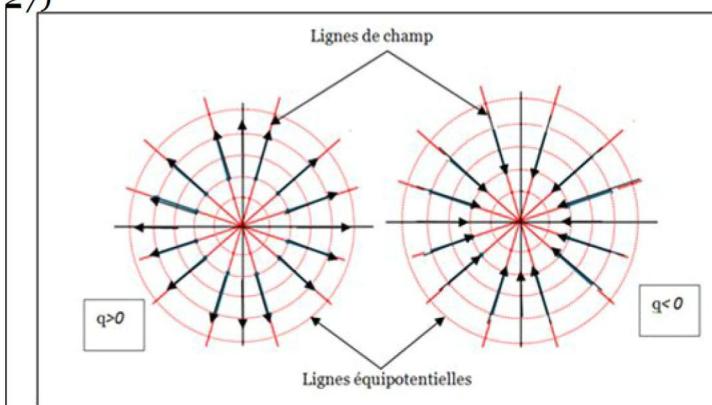


figure 25

lignes de champs
cas d'une seule
charge positive ou
négative

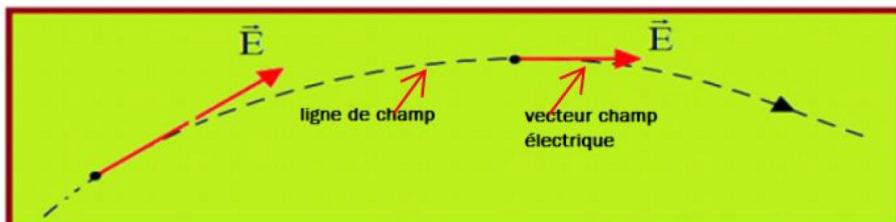
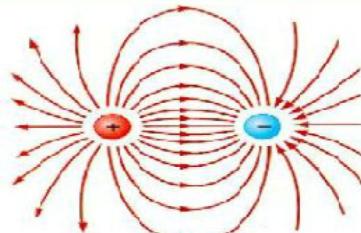


figure 26

lignes de champs
cas de 2 charges
opposées



lignes de champs
cas de 2 charges
de même signe

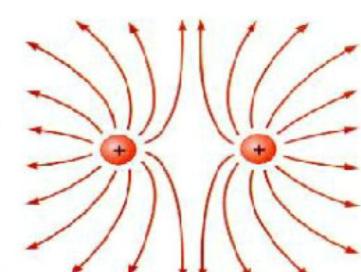
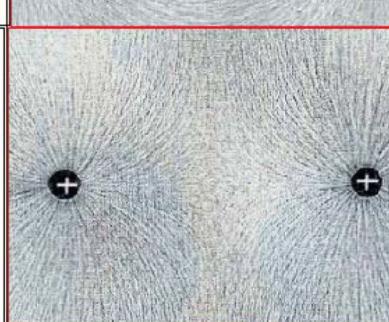


figure 27