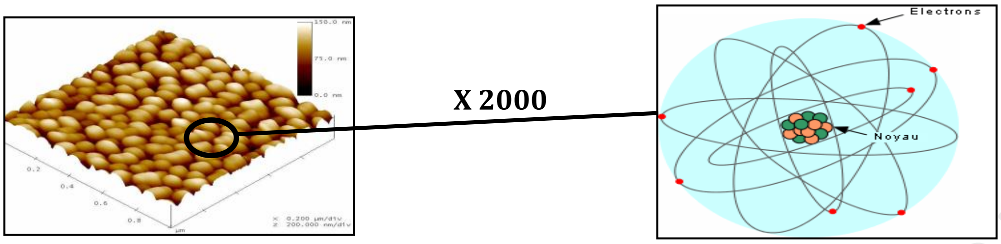
1.ÉLECTRICITE.

1.1: Généralités et rappels.

À l'échelle microscopique, la matière est formée d'un ensemble d'atome ou de molécules reliées entre elles par des forces d'interactions de **VAN DER WALLS**.



1.1.1 Atome. Dans l'atome on retrouve une partie centrale très dense (le noyau), autour de laquelle gravitent les électrons.

Le noyau de l'atome est constitué de protons et de neutrons, et la partie périphérique constituée d'un nuage électronique.

Le tableau suivant donne les caractéristiques physiques de ces particules que l'on retrouve dans l'atome.

	Charges-en (C)	Masse en (Kg)
Électron	$(-e = -1{,}6\ 10^{-19})$	$9{,}11\ 10^{-31}$
Proton	$(+e = +1{,}6\ 10^{-19})$	$1{,}67\ 10^{-27}$
Neutron	0	$1{,}67\ 10^{-27}$

1.1.2 Charge Atomique. La charge électrique d'un atome peut être déduite de la somme algébrique de toutes ses charges élémentaires.

Soit un atome $\left({}_{Z}^{A}X_{N}\right)$;

Z : le numéro atomique de l'atome, il représente le nombre de protons de l'atome considéré.
N : le nombre de neutrons de cet atome.
A : le nombre total de nucléons de l'atome, avec ; $\mathbf{A = Z + N}$

a) **Charge nucléaire :** La charge électrique du noyau $(\mathbf{Q}_{noy})$ est la somme algébrique de toutes les charges élémentaires de tous les protons qui forment ce noyau. Sachant que la charge du neutron est nulle et que celle du proton que l'on note (e) est positive, on déduit que la charge totale du noyau est :

$$\mathbf{Q}_{noy} = \mathbf{Z} \times (+\mathbf{e})$$

b) **La charge du nuage électronique :** les électrons du nuage électronique ont la même valeur de la charge électrique, elle est égale en valeur absolue à celle du proton, on la note donc de la même manière par (e). La charge électrique totale du nuage électronique est la somme algébrique de toutes ces charges électroniques élémentaires. Si l'on note le nombre total des électrons par $(\mathrm{N_{électrons}})$, la charge électrique du nuage électronique $(\mathbf{Q_{électrons}})$ sera donc :

$$\mathrm{Q}_{électrons} = \mathrm{N}_{électrons}\,(-\mathrm{e}).$$

c) **Charge atomique :** la charge atomique est la somme algébrique de toutes les charges élémentaires que l'on retrouve dans l'atome. Elle sera notée $(\mathrm{Q_{Atome}})$, cette charge totale de l'atome sera donc :

$$\mathrm{Q_{Atome}} = \mathrm{Q_{noy}} + \mathrm{Q_{électrons}} \rightarrow \quad \mathrm{Q_{Atome}} = \mathrm{Z}(+\mathrm{e}) + \mathrm{N_{électrons}}(-\mathrm{e}) \rightarrow$$

$$\boxed{\mathbf{Q_{Atome}} = (\mathbf{Z} - \mathbf{N_{électrons}})\,\mathbf{e}}$$

1.1.3 Conclusion. La nature de la charge électrique dépend du nombre de protons et de celui des électrons de la matière. On distingue trois cas de figures.

a) Dans le cas où le nombre total de protons de l'atome est supérieur à celui des électrons, la différence **$(Z - N_{électrons})$** sera positive. La charge électrique de la matière est positive, c'est-à-dire que la matière a perdu des électrons.

b) Et dans le cas où le nombre total de protons de l'atome est inférieur à celui des électrons, la différence **$(Z - N_{électrons})$** sera négative. La charge électrique de la matière est négative, c'est-à-dire que la matière a gagné des électrons.

c) Enfin si la différence **$(Z - N_{électrons})$** est nulle, c'est-à-dire dans le cas où le nombre de protons soit égal au nombre d'électrons, la charge totale est nulle, et la matière est neutre.

1.2 Différents modes d'électrisation.

Pour électriser un corps, on peut procéder **de trois façons différentes.**

1.2.1 Frottement. Le frottement de corps peut provoquer l'arrachement d'électrons de la matière frottée, un des deux corps sera chargé positivement (déficit d'électrons), l'autre sera chargé négativement, (excès d'électrons).

1.2.2 Contact. Le contact d'un corps initialement chargé avec un autre corps neutre peut provoquer un déplacement d'électrons entre les deux corps.

1.2.3 Influence: Deux corps qui portent deux charges différentes, séparés par une distance faible provoque une influence de l'un des corps sur l'autre. Cette influence produit une nouvelle répartition de charge dans les deux corps.

1.2.4 Différence principale entre le contact et l'influence : la différence principale entre l'électrisation par le contact et l'électrisation par influence est que : lors du contact de deux conducteurs chargés, on aura un **échange** de charges élémentaires entre les deux corps. C'est-à-dire que les charges finales des deux conducteurs seront différentes de leurs charges initiales avant leurs contacts. Alors dans le cas de l'électrification de deux conducteurs par influence le nombre de **charge de chaque conducteur reste inchangé**, pas d'échange de charges élémentaires entre les deux conducteurs.

1.3 Électrostatique

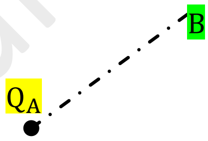
1.3.1 Définitions : **l'électrostatique** est une branche de la physique qui étudie les charges électriques immobiles. Et si celles-ci sont en mouvement on parle de **l'électrocinétique**.

1.3.1.1 Charge ponctuelle : Une charge est dite **ponctuelle** si toutes les charges élémentaires sont concentrées en un seul point (un seul atome).

1.3.1.2 Charge ponctuelle isolée : Si la charge ponctuelle **n'est pas influencée** par le milieu extérieur, elle est **dite isolée**.

1.3.2 Influence d'une charge électrique ponctuelle immobile sur le milieu extérieur. Toute charge ponctuelle isolée produit en tous points du milieu extérieur un champ électrique et un potentiel électrique.

1.3.2.1 Notation et schématisation : la charge électrique sera généralement notée (Q_A) et elle sera toujours indicée. L'indice représente la position de la charge, c'est-à-dire le point ou l'on a placé la charge électrique. Dans le schéma ci-contre le point (A) représente la position de la charge ponctuelle, et le point (B) représente un point de l'espace très proche de la charge et qui sera influencé par la charge (Q_A). Donc la charge (Q_A) sera qualifiée de charge influente. De la même manière, toutes les autres variables que l'on va définir à la suite suivront la même notation, c'est-à-dire on va toujours définir le paramètre influent et le paramètre influencé. Par exemple :



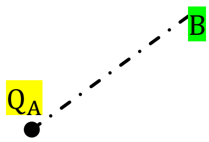
- Si l'on veut définir un champ électrique, il sera noté

$$(\vec{E}_{A/B})\begin{cases}\vec{E} : \textit{le champ électrique.}\\ A : \textit{la position de la charge influente.}\\ B : \textit{la position du point extérieur influencé par } A\end{cases}$$

- Et l'on veut définir une force électrique, elle sera notée

$$(\vec{F}_{A/B})\begin{cases}\vec{F} : \textit{la force électrique.}\\ A : \textit{la position de la charge influente.}\\ B : \textit{la position de charge influencée par } (Q_A).\end{cases}$$

1.3.2.2 Champ électrique. Soit une charge ponctuelle isolée notée (Q_A) placée en un point (A) du milieu extérieur. Cette charge génère en tout point du milieu extérieur un champ électrique que l'on note $\vec{E}_{A/B}$.



1.3.2.2.1 Expressions du champ électrique : L'expression du champ électrique est donnée par :

$$\boxed{\vec{E}_{A/B} = k \times \frac{Q_A}{(AB)^2}\vec{u}}\begin{cases}k : \textit{est la constante électrique universelle.}\\ Q_A : \textit{la charge influente.}\\ \text{B : le point du milieu extérieur influencé par la charge } Q_A.\\ \overline{AB} : \textit{la distance qui sépare le point } (A) \textit{ du point } (B).\\ \vec{u} : \textit{est le vecteur unitaire, utilisé dans la représentation du champ.}\end{cases}$$

La constante électrique universelle (k) dépend de la nature du milieu extérieur, son expression est :

$$k = \frac{1}{4\times\pi\times\varepsilon}\begin{cases}\varepsilon = \varepsilon_0 \times \varepsilon_r : \textit{est appelée la pérmitivité du milieu extérieur.}\\ \varepsilon_0 = 8{,}85\ 10^{-12}(SI) : \textit{la permitivité du vide.}\\ \varepsilon_0 : \textit{la permitivité relative par rapport à celle du vide.}\end{cases}$$

Remarque : dans le cas particulier du vide la valeur de la constante électrique universelle (k) est égale à :

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

1.3.2.2.2 Caractéristiques du champ électrique

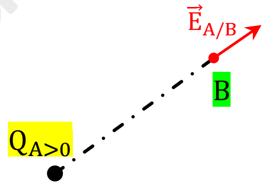
: le champ électrique est une grandeur vectorielle, et toute grandeur vectorielle est caractérisée par quatre paramètres à savoir :

a) Le point d'application : le point où l'on va schématiser le champ électrique $(\vec{E}_{A/B})$est toujours le point influencé.

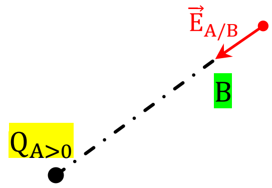
b) La direction du vecteur champ : elle représente l'angle formé par la droite qui porte le vecteur champ $(\vec{E}_{A/B})$ par rapport à une autre droite considérée comme une référence.

c) Le sens du vecteur champ : le sens du vecteur champ $(\vec{E}_{A/B})$ dépend de la nature de charge influente.

i. Si la charge influente est positive on dit que le vecteur champ $(\vec{E}_{A/B})$ est sortant, c'est-à-dire que le sens de ce vecteur champ s'éloigne de la charge influente. Il est orienté vers l'extérieur de la charge, voir le schéma ci-contre.



ii. Si au contraire la charge influente est négative on dit que le vecteur champ $(\vec{E}_{A/B})$ est rentrant, c'est-à-dire que son sens se rapproche de la charge influente. Il est orienté vers la charge, voir le schéma ci-contre.



d) Le module du vecteur champ : le module du vecteur représente l'intensité de celui-ci, il est dit aussi la norme du vecteur champ électrique $(|\vec{E}_{A/B}|)$.
On le représente en fonction de la valeur du vecteur unitaire $(\vec{u})$ que l'on considère comme valeur de référence.

e) Unité de mesure du vecteur champ électrique : dans le système international l'unité du vecteur champ électrique est :

$$[\vec{E}] = \frac{[\text{Volts}]}{[\text{Mètres}]} = \frac{[\text{Newton}]}{[\text{Coulomb}]}$$

1.3.2.3 Potentiel électrique.

Considérons la charge électrique précédente (Q_A) placée au point (A), en plus du champ électrique que va créer cette charge en ce point, elle génère aussi au même point (A) un potentiel électrique que l'on va noter $(V_{A/B})$. Le potentiel électrique est une grandeur scalaire algébrique, il correspond au travail électrique nécessaire pour déplacer une charge électrique de valeur unité $(Q_A = 1\ C)$ de l'infini au point (A).

1.3.2.3.1 Expression du potentiel électrique :

L'expression du potentiel électrique est donnée par :

$$V_{A/B} = k \times \frac{Q_A}{(AB)} \quad \begin{cases} k : \textit{est la constante électrique universelle.} \\ Q_A : \textit{la charge influente.} \\ B : \text{le point du milieu extérieur influencé par la charge } Q_A. \\ AB : \textit{la distance qui sépare le point } (A) \textit{ du point } (B). \end{cases}$$

1.3.2.3.2 Caractéristiques du potentiel électrique : Le potentiel électrique étant une grandeur scalaire, il est caractérisé uniquement par sa valeur et son signe.

- Si la charge influente est positive la valeur du potentiel électrique sera positive aussi.
- Et si la charge influente est de nature négative la valeur du potentiel électrique est négative.

1.3.2.3.3 Unité de mesure du potentiel électrique. Dans le système international l'unité du potentiel électrique est :

$$[\mathrm{V}] = \frac{[\mathrm{Newton}] \times [\mathrm{Mètre}]}{[\mathrm{Coulomb}]}$$

1.3.2.4 Relation entre le potentiel électrique et le champ électrique. Le champ électrique dérive du potentiel électrique. L'expression de la relation qui existe entre le champ électrique au potentiel électrique est donnée par :

$$\vec{\mathrm{E}} = -\frac{\vec{d}\,\mathrm{V}}{d\,x}$$

Dans le cas général cette relation est notée par : $\vec{\mathrm{E}} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,(\mathrm{V})$

1.3.3 Influence d'une charge électrique sur une autre charge électrique.

1.3.3.1 Définition : Une charge électrique est dite non isolée si elle est influencée par le milieu extérieur.

1.3.3.2 Loi de COULOMB, Force Électrostatique. La force de l'interaction électrique entre deux charges électriques est nommée la force **de COULOMB** et elle forme la base de l'électrostatique.

L'intensité de cette force est proportionnelle au produit des deux charges et est inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare les deux charges. La force est portée par la droite passant par les deux charges. Réellement

1.3.3.2.1 Expression de la force de Coulomb : La force de Coulomb, notée $(\vec{\mathrm{F}}_C)$, est une grandeur vectorielle, son expression est donnée par :

$$\vec{\mathrm{F}}_C = k \times \frac{\mathrm{Q_A} \times \mathrm{Q_B}}{(\mathrm{AB})^2}\vec{u}$$

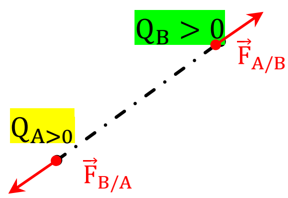
$$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{C}} = k \times \frac{\mathrm{Q_A} \times \mathrm{Q_B}}{(\overline{\mathrm{AB}})^2}\vec{u} \begin{cases} k : \textit{est la constante électrique universelle.} \\ \mathrm{Q_A}, \mathrm{Q_B} : \textit{les deux charges ponctuelles.} \\ \overline{\mathrm{AB}} : \textit{la distance qui sépare les deux charges.} \\ \vec{u} : \textit{ele vecteur unitaire, pour la représentation du champ.} \end{cases}$$

1.3.2.2.3 Caractéristiques de la force de Coulomb : la force de Coulomb est une grandeur vectorielle, caractérisée aussi par quatre paramètres à savoir :

a) Le point d'application : réellement, il existe deux forces qui s'appliquent simultanément sur les deux charges, elles ont la même intensité, la même direction mais des points d'applications différent et des sens opposés.

La première force $(\vec{\mathrm{F}}_{A/B})$ est la force que va exercer la charge la charge $(\mathrm{Q_A})$ sur la charge $(\mathrm{Q_B}.)$

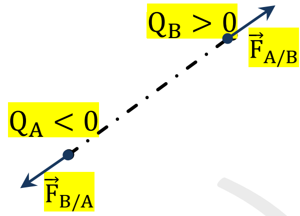
La deuxième force $(\vec{\mathrm{F}}_{B/A})$ est la force que va exercer la charge la charge $(\mathrm{Q_B})$ sur la charge $(\mathrm{Q_A}.)$



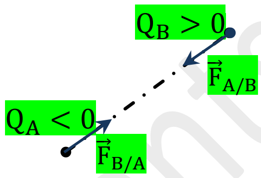
b) La direction des forces de Coulomb : les deux vecteurs forces ont la même direction, c'est la droite qui passe par les deux charges.

c) Le sens des forces de Coulomb : le sens dépend de la nature des deux charges. Deux situations peuvent se présenter :

- Si les deux charges (Q_A) et (Q_B) sont de même nature (positive-positive) ou (négative-négative), les deux charges vont se repoussées les unes par rapport aux autres, on parle de forces répulsives, voir le schéma ci-contre.



- Si au contraire les deux charges (Q_A) et (Q_B) sont de nature différente (positive-négative) ou (négative-positive), les deux charges vont s'attirées les unes par rapport aux autres, on parle de forces attractives.



d) Le module du vecteur force : le module est l'intensité de celle-ci, $(|\vec{F}_{A/B}|)$.

e) Unité de mesure du vecteur force électrique : dans le système international l'unité de la force électrique est :

$$[\vec{F}] = [\text{Newton}]$$

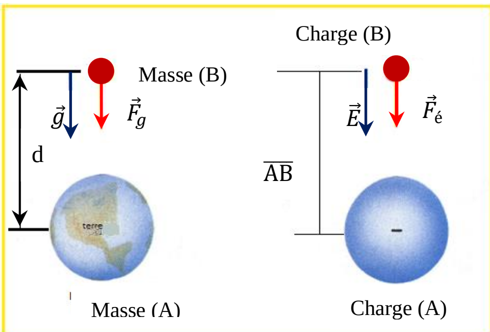
1.3.4 Énergie potentielle d'une charge électrique influencée par le milieu extérieur.

En plus de la force électrique appliquée entre les deux charges ponctuelles, il existe une énergie liée à cette l'interaction entre ces deux charges. Cette énergie potentielle à le pouvoir de se transformer sous forme d'énergie de mouvement ou cinétique. Elle est notée (Ep), son expression est la suivante :

$$\text{Ep} = \text{Ep}_{A/B} = \text{Ep}_{B/A} = k \times \frac{Q_A \times Q_B}{(\overline{AB})}$$

1.3.5 Comparaison entre la théorie de newton et celle de coulomb.

Soit deux masses (m_A) et (m_B), qui portent deux charges (Q_A) et (Q_B). Le tableau suivant permet de faire une analogie entre les différentes expressions de la théorie de gravitation de **Newton** et celles de la théorie électrostatique de **Coulomb**.



Les valeurs dans le vide des constantes universelles de gravitation (G) et électrique (K), sont données dans le système d'unité internationale.

- $G = 6{,}67\ 10^{11}$ (S. I).
- $K = 9.0\ 10^{9}$ (S. I)

	Masses	Charges
Forces	$\vec{F}_g = G \times \frac{m_A \times m_B}{(AB)^2} \vec{u}$	$\vec{F}_{élec} = k \times \frac{Q_A \times Q_B}{(AB)^2} \vec{u}$
Champs	$\vec{g}_{A/B} = G \times \frac{m_A}{(AB)^2} \vec{u}$	$\vec{E}_{A/B} = k \times \frac{Q_A}{(AB)^2} \vec{u}$
Énergie potentielle	$Ep_g = G \times \frac{m_A \times m_B}{(AB)}$	$Ep_{élec} = k \times \frac{Q_A \times Q_B}{(AB)}$
Potentiel.	$V_g = G \times \frac{m_A}{(AB)}$	$V_{élec} = k \times \frac{Q_A}{(AB)}$

1.3.6 Relation entre le champ électrique et la force électrique.

Soit une charge électrique ($\mathbf{Q_B}$)soumise à l'action d'une autre charge ($\mathbf{Q_A}$). Déterminons la relation qui existe entre la force électrique de coulomb appliquée par la charge (Q_A) sur la charge (Q_B) et le champ généré par la charge influente (Q_A) au point (B).

$$\vec{F}_{A/B} = k \times \frac{Q_A \times Q_B}{(AB)^2} \vec{u} = Q_B \times \left(k \times \frac{Q_A}{(AB)^2}\right) \vec{u} = Q_B \times \vec{E}_{A/B}.$$

- Q_A : est la charge influente.
- Q_B : est la charge influencée.
- $\vec{E}_{A/B}$: Est le champ électrique externe influent.

$$\vec{F}_{\text{charge influente/ charge influencée}} = Q_{\text{influencée}} \times \vec{E}_{\text{influent}}$$

- ❑ Le sens du champ est le **même** que celui de la force si la **charge influencée est positive**.
- ❑ Sinon le sens du champ **est opposé** de celui de la force électrique.

1.3.7 Relation entre l'énergie potentielle et le potentiel électrique.

De la même manière que dans le cas précédent, l'énergie potentielle est liée au potentiel électrique par :

$$Ep_{A/B} = k \times \frac{Q_A \times Q_B}{(AB)} = Q_B \times \left(k \times \frac{Q_A}{(AB)}\right) = Q_B \times V_{A/B}$$

- Q_B : est la charge influencée
- $V_{A/B}$: Est le potentiel électrique externe influent.

$$Ep_{\text{charge influente/ charge influencée}} = Q_{\text{influencée}} \times V_{\text{influent}}$$

1.4 Généralisation.

Soient un ensemble de charges électriques ponctuelles (n) placées dans un espace donné, déterminons l'influence de cet ensemble de charge sur un point du milieu extérieur environnant.

1.4.3 Champ électrique résultant. Le champ électrique résultant en un point (M) de l'espace, influencé par un ensemble de charges ponctuelles, est la somme vectorielle de tous les champs électriques générés par chaque charge en ce même point.

$$\vec{E}_{\text{résultant}} = \sum \vec{E}_i$$

1.4.4 Potentiel électrique résultant. Le potentiel électrique résultant en un point M de l'espace influencé par un ensemble de charges ponctuelles, est la somme algébrique de tous les potentiels électriques générés par chaque charge en ce même point.

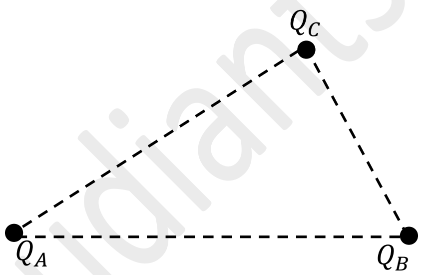
$$V_{\text{résultant}} = \sum V_i$$

1.4.5 Exemple. Soit trois charges électriques, ($Q_A > 0, Q_B < 0$ et $Q_C > 0$), placées sur les sommets d'un triangle quelconque, comme indiquées sur la figure suivante. Les distances $\overline{AB}, \overline{AC}$ et $\overline{BC}$ ainsi que les angles internes du triangle sont supposés être connues.

a- Déterminer l'expression du champ électrique résultant au point (C), généré par les charges (Q_A) et (Q_B).

b- Trouver l'expression du champ électrique résultant au point généré par les charges (Q_A) et (Q_C).

c- Donner l'expression de la force électrique résultante appliquée sur (Q_B).



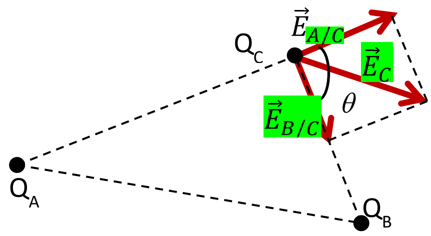
d- Trouver l'énergie potentielle électrique de la charge (Q_B).

1.4.6 Réponse.

a- Le champ électrique résultant généré par les charges (Q_A *et* Q_B) au point C :

Le champ résultant au point (C) est la somme vectorielle des deux champs $\vec{E}_{A/C}$ et $\vec{E}_{B/C}$ sur le point B, son expression est donnée par :

$$\vec{E}_C = \vec{E}_{A/C} + \vec{E}_{B/C}$$

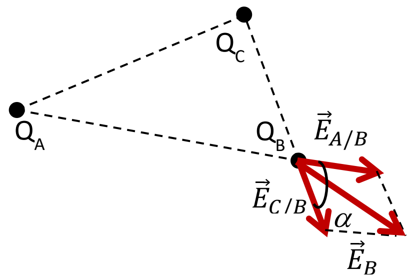


- Le champ généré par la charge Q_A au point C est $\vec{E}_{A/C} = k\frac{Q_A}{(AC)^2}\vec{u}$, son sens est sortant car $Q_A > 0$.
- Le champ généré par la charge Q_B au point C est $\vec{E}_{B/C} = k\frac{Q_B}{(BC)^2}\vec{u}$, son sens est rentrant car $Q_B < 0$.
- L'angle (θ), est l'angle formé entre les deux vecteurs champs $\vec{E}_{A/C}$ et $\vec{E}_{B/C}$

$$|\vec{E}_C| = \sqrt{(|\vec{E}_{A/C}|)^2 + (|\vec{E}_{B/C}|)^2 + 2 \times (|\vec{E}_{A/C}|) \times (|\vec{E}_{B/C}|) \times \cos(\theta)}$$

b- Le champ électrique résultant généré par les charges (Q_A *et* Q_C) au point B :

Le champ est la somme vectorielle des deux champs $\vec{E}_{A/B}$ *et* $\vec{E}_{C/B}$ sur le point B, son expression est donnée par : $\vec{E}_B = \vec{E}_{A/B} + \vec{E}_{C/B}$



- Le champ généré par la charge Q_A au point B est $\vec{E}_{A/B} = k\frac{Q_A}{(AB)^2}\vec{u}$, son sens est sortant car $Q_A > 0$.
- Le champ généré par la charge Q_C au point B est $\vec{E}_{\frac{C}{B}} = k\frac{Q_B}{(BC)^2}\vec{u}$, son sens est sortant car $Q_C > 0$.
- L'angle (α), est l'angle formé entre les deux vecteurs champs $\vec{E}_{A/B}$ *et* $\vec{E}_{C/B}$

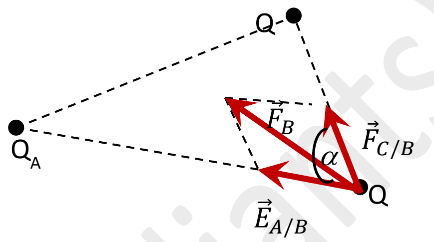
$$|\vec{E}_B| = \sqrt{(|\vec{E}_{A/B}|)^2 + (|\vec{E}_{C/B}|)^2 + 2 \times (|\vec{E}_{A/B}|) \times (|\vec{E}_{C/B}|) \times \cos(\alpha)}$$

c- La force résultante qui s'applique sur la charge Q_B :

On peut procéder de deux manières différentes.

1ière méthode : On calcul séparément les deux forces qui s'applique sur la charge (Q_B)
La force résultante est la somme vectorielle des deux vecteurs forces $\vec{F}_{A/B}$ *et* $\vec{F}_{C/B}$ qui s'appliquent sur la charge (Q_B), son expression est donnée par :

$$\vec{F}_B = \vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{C/B}$$



- La force produite par la charge Q_A sur la charge (Q_B) est $\vec{F}_{A/B} = k\frac{Q_A \times Q_B}{(AB)^2}\vec{u}$, les deux forces sont attractives car les deux charges (Q_A, Q_B) sont de natures différentes.

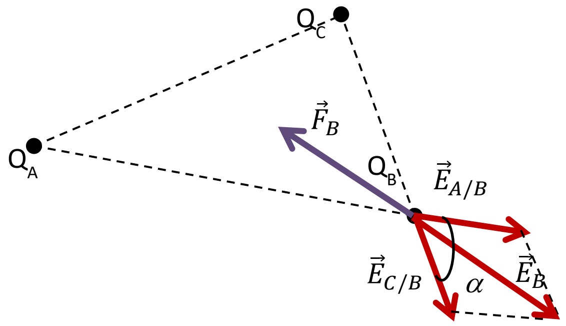
- La force produite par la charge Q_C sur la charge (Q_B) est $\vec{F}_{C/B} = k\frac{Q_C \times Q_B}{(AB)^2}\vec{u}$, les deux forces sont attractives car les deux charges (Q_C, Q_B) sont de natures différentes.

- L'angle (α), est l'angle formé entre les deux vecteurs forces $\vec{F}_{A/B}$ *et* $\vec{F}_{C/B}$.

$$|\vec{F}_B| = \sqrt{\left(\left|\vec{F}_{\frac{A}{B}}\right|\right)^2 + \left(\left|\vec{F}_{\frac{C}{B}}\right|\right)^2 + 2 \times \left(\left|\vec{F}_{\frac{A}{B}}\right|\right) \times \left(\left|\vec{F}_{\frac{C}{B}}\right|\right) \times \cos(\alpha)}$$

2ière méthode : On déduit la force électrique qui s'applique sur la charge (Q_B) à partir de l'expression du champ électrique, à condition de connaitre ce dernier, par :

$$\vec{F}_B = Q_B \times \vec{E}_B$$



- (Q_B) Étant la charge influencée par le champ électrique généré par les deux charges $(Q_A$ *et* $Q_C)$ au point (B)

- Le champ résultant au point (B) a été calculé dans la question précédente, il est qualifié de champ électrique externe.

$$\vec{E}_B = \vec{E}_{A/B} + \vec{E}_{C/B}$$

Donc le module de la force résultante appliquée sur la charge Q_B sera donné par :

$$|\vec{F}_B| = Q_B \times |\vec{E}_B|$$

Le sens de la force électrique résultante est opposé à celui du champ électrique résultant, car la charge influencée (Q_B) est négative.

d- L'énergie potentielle de la charge Q_B :

On peut procéder aussi de deux manières différentes.

1^iere méthode : On calcul séparément les deux énergies potentielles générées par les charges (Q_A) et (Q_C) sur la charge (Q_B)

L'énergie potentielle résultante est la somme algébrique des deux énergies potentielles $\mathrm{Ep}_{A/B}$ et $\mathrm{Ep}_{C/B}$ sur la charge (Q_B), son expression est donnée par :

$$\mathrm{Ep_B = Ep_{A/B} + Ep_{C/B}}$$

- L'énergie potentielle produite par la charge Q_A sur la charge (Q_B) est $\mathrm{Ep_{A/B} = k\frac{Q_A \times Q_B}{(AB)}}$.
- L'énergie potentielle produite par la charge Q_C sur la charge (Q_B) est $\mathrm{Ep_{C/B} = k\frac{Q_C \times Q_B}{(CB)}}$.

2^iere méthode : On déduit l'expression de l'énergie potentielle de la charge (Q_B) à partir de l'expression du potentiel électrique.

$$\mathrm{Ep_B = Q_B \times V_B}$$

- (Q_B) Étant la charge influencée par le champ électrique généré par les deux charges $(Q_A$ et $Q_C)$ au point (B)
- Le potentiel résultant au point (B) peut être calculé par la somme algébrique des deux potentiels électriques générés par les charges influentes $(Q_A$ et $Q_C)$ au point (B).

$$\mathrm{V_B = V_{A/B} + V_{C/B}}$$

  - Le potentiel produit par la charge Q_A sur le *point* (B) *est* $V_{A/B} = k\frac{Q_A}{(AB)}$.
  - *Le potentiel produit par la charge* Q_C *sur le point* (B) *est* $V_{C/B} = k\frac{Q_C}{(CB)}$.

1.5 Travail des forces électriques et énergie interne d'un système de plusieurs charges.

1.5.3 Travail des forces électriques.

Les forces électriques sont des forces qui **dérive du potentiel électrique**, le travail de ces forces est indépendant du chemin suivi. Il dépend de la variation de l'énergie potentielle de la charge en mouvement entre le point de départ et le point d'arrivé de celle-ci.

Un système externe est responsable du mouvement de cette charge. Ce système génère au point de départ (A) et au point d'arriver (B), un potentiel et un champ électrique résultant.

$$\mathrm{W_{A\to B} = -\,\Delta Ep = \Delta Ec}$$
$$\mathrm{W_{A\to B} = -\Delta(Ep) = -\big[(Ep_{arrivée}) - (Ep_{départ})\big]}$$
$$\mathrm{\to W_{A\to B} = \big[Ep_{départ} - Ep_{arrivée}\big]}$$

L'énergie potentielle de départ (au point (A)) de la charge en mouvement influencée par le système externe peut être écrite sous forme de :

$$\mathrm{Ep_{départ} = (Q_{influencée}) \times V_{départ}}$$

L'énergie potentielle d'arrivée (au point (B)) de la charge en mouvement influencée par le système externe peut être écrite sous forme de :

$$\mathrm{Ep_{arrivée} = (Q_{influencée}) \times V_{arrivée}}$$

On déduit que l'expression du travail des forces électriques qui sont à l'origine du mouvement de cette charge se met sous la forme :

$$\mathbf{W_{A\rightarrow B}} = \left[(\mathrm{Q_{influencée}}) \times \mathrm{V_{départ}} - (\mathrm{Q_{influencée}}) \times \mathrm{V_{arrivée}}\right]$$

Ce qui donne :

$$\mathrm{W_{A\rightarrow B}} = \left[(\mathrm{Q_{influencée}}) \times (\mathrm{V_{départ}} - \mathrm{V_{arrivée}})\right]$$

- **Remarques.**
  - ✓ Si le travail des forces électriques **est positif, il est dit moteur**. C'est à dire que la charge influencée se déplace seule dans le milieu extérieur sans apport d'énergie externe.
  - ✓ Sinon, **il est dit résistant**, un agent externe doit la faire déplacée.

1.5.4 Énergie interne d'un système de charge.

L'énergie interne d'un système de charges est un paramètre qui permet de qualifier la stabilité de celui-ci. Si le signe de cette énergie est **positif**, les charges tendent à s'éloignées les unes des autres on dit que le **système est instable**. Alors que s'il est **négatif** les charges tendent à se rapprochées les unes des autres on dit que le **système de charges est stable.**

Cette énergie interne est définie par : $\mathrm{U}_i = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left(k \times \frac{Q_i \times Q_j}{\overline{\mathrm{ij}}}\right)$

Elle représente la **somme algébrique** de toutes les énergies potentielles de toutes les charges que l'on doit prendre par couple de deux charges.

$$\mathbf{U}_i = \sum_{i=1}^{n}(\mathbf{Ep}_i)$$

1.6 Lignes de champs et surfaces équipotentielles.

1.6.3 Lignes de champs :

On appelle ligne de champ électrostatique toute "courbe orientée" de l'espace qui est tangente en tout point au champ électrostatique associé et orientée dans le même sens que ce dernier. Elle représente la trajectoire d'une charge influencée lors de son déplacement dans le milieu extérieur.

1.6.4 Surfaces équipotentielles :

L'ensemble des points de l'espace ayant la même valeur du potentiel électrique, définit des surfaces équipotentielles.

1.6.5 Propriétés des lignes de champs et des surfaces équipotentielles.

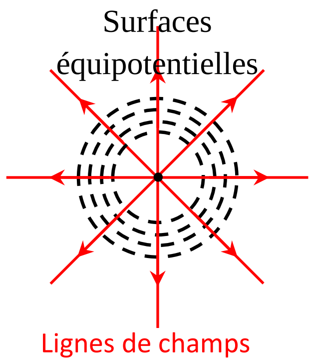
Trois propriétés importantes relient les lignes de champs aux surfaces équipotentielles.

- Les lignes de champs **sont toujours perpendiculaires** aux surfaces équipotentielles.
- 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.

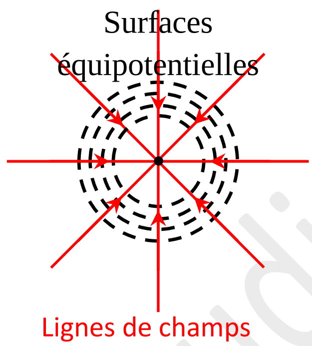
1.6.5.1 Exemple de lignes de champ et de surfaces équipotentielles :

a- Cas d'une seule charge ponctuelle.

Charge Positive.

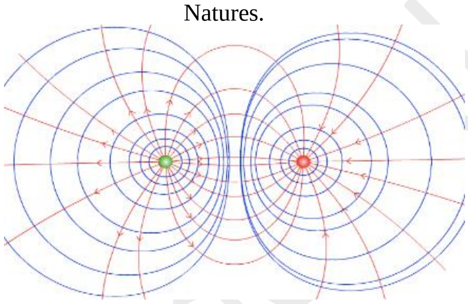


Charge Négative.

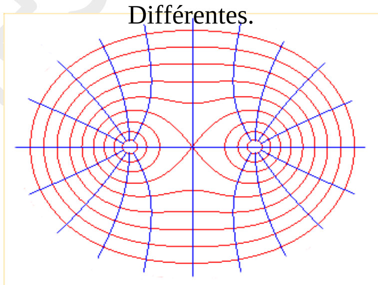


b- Cas deux charges ponctuelles.

Les Deux Charges Sont De Mêmes Natures.



Les Deux Charges Sont Natures Différentes.



c- Cas général.