

Module de Biophysique

BIOELECTRICITE

Pr. Boutheïna Boutabia-Chéraitia

Faculté de Médecine d'Annaba

1 BIOELECTRICITE Pr B. Boutabia-Chéraitia

A- ELECTROSTATIQUE

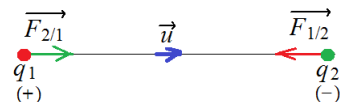
Etude des phénomènes créés par des charges électriques immobiles.

1- FORCE ELECTRIQUE

↪ q_1 et q_2 sont de **signes contraires** ⇒ forces **attractives**.

\vec{u} : vecteur unitaire. $\|\vec{u}\| = 1$

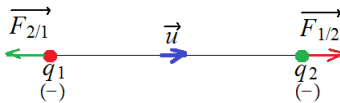
$$\vec{F}_{1/2} = -F_{1/2}\vec{u} \quad \vec{F}_{2/1} = F_{2/1}\vec{u}$$



↪ q_1 et q_2 sont de **mêmes signes** ⇒ forces **répulsives**.

$$\vec{F}_{1/2} = -\vec{F}_{2/1} \quad F_{1/2} = F_{2/1} = K \frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}$$

$$[F] = N; [r] = m; [q] = C$$



$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} = \frac{9 \times 10^9}{\epsilon_r} \quad \epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r$$

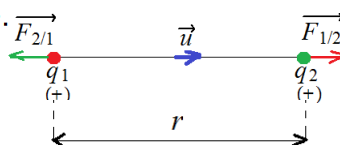
ϵ : permittivité diélectrique absolue du milieu.

ϵ_0 : permittivité diélectrique absolue du vide.

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} A.s/V.m$$

ϵ_r : permittivité relative du milieu.

$$\epsilon_{r_{vide}} = 1; \epsilon_{r_{air}} = 1.006; \epsilon_{r_{eau}} = 78.5; \dots$$



2

BIOELECTRICITE

Pr B. Boutabia-Chéraitia

Exercice 1:

- 1) Calculer la charge d'un kilogramme d'électrons et celle d'un kilogramme de protons.
- 2) Calculer la force qui s'exerce entre ces deux masses placées à 1m l'une de l'autre.
- 3) Comparer cette force à celle s'exerçant entre la terre et le soleil distants de $150 \times 10^6 km$.

On donne: $m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$; $m_p = 1.67 \times 10^{-27} kg$;
 $m_T = 6 \times 10^{24} kg$; $m_S = 2 \times 10^{30} kg$; $G = 6.67 \times 10^{-11} N.m^2/kg^2$

Réponses:1) 1kg d'électrons

$$\left. \begin{array}{l} 9.1 \times 10^{-31} kg \rightarrow -1.6 \times 10^{-19} C \\ 1kg \rightarrow Q_e \end{array} \right\} \Rightarrow Q_e = \frac{-1.6 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}} = -1.76 \times 10^{11} C$$

3

BIOELECTRICITE

Pr B. Boutabia-Chéraitia

1kg de protons

$$\left. \begin{array}{l} 1.67 \times 10^{-27} kg \rightarrow 1.6 \times 10^{-19} C \\ 1kg \rightarrow Q_{e^+} \end{array} \right\} \Rightarrow Q_{e^+} = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{1.67 \times 10^{-27}} = 0.96 \times 10^8 C$$

2) Force électrique

$$F_{-/+} = F_{+/-} \equiv F_e$$

$$F_e = K \frac{|Q_e \times Q_{e^+}|}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{1.76 \times 10^{11} \times 0.96 \times 10^8}{1^2} = 1.52 \times 10^{29} N$$

3) Force gravitationnelle

$$F_{S/T} = F_{T/S} \equiv F_G$$

$$F_G = G \frac{m_S \times m_T}{d^2} = 6.67 \times 10^{-11} \frac{6 \times 10^{24} \times 2 \times 10^{30}}{(150 \times 10^9)^2} = 3.56 \times 10^{22} N$$

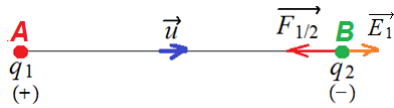
$$\frac{F_e}{F_G} = \frac{1.52 \times 10^{29}}{3.56 \times 10^{22}} = 4.3 \times 10^6 \Rightarrow F_e \gg F_G$$

4

BIOELECTRICITE

Pr B. Boutabia-Chéraitia

2- CHAMP ELECTRIQUE



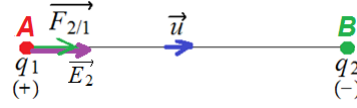
$$\begin{aligned}\vec{F}_{1/2} &= -F_{1/2}\vec{u} = -K\frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}\vec{u} \\ &= K\frac{q_1 \times q_2}{r^2}\vec{u}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{1/2} = q_2 \left(K\frac{q_1}{r^2}\vec{u} \right) \equiv q_2 \vec{E}_1$$

$$\vec{E}_1 = K\frac{q_1}{r^2}\vec{u} \quad [E_1] = N/C$$

\vec{E}_1 : **champ électrique** créé par q_1 en B.

\vec{E}_1 : **sortant** car $q_1 > 0$



$$\begin{aligned}\vec{F}_{2/1} &= F_{2/1}\vec{u} = K\frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}\vec{u} \\ &= -K\frac{q_1 \times q_2}{r^2}\vec{u}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{2/1} = q_1 \left(-K\frac{q_2}{r^2}\vec{u} \right) \equiv q_1 \vec{E}_2$$

$$\vec{E}_2 = -K\frac{q_2}{r^2}\vec{u}$$

\vec{E}_2 : **champ électrique** créé par q_2 en A.

\vec{E}_2 : **rentrant** car $q_2 < 0$

$$q_1 q_2 < 0 \Rightarrow |q_1 q_2| = -q_1 q_2$$

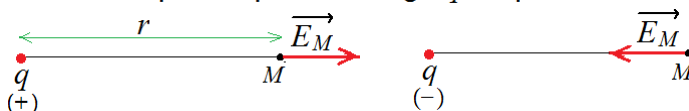
5

BIOELECTRICITE

Pr B. Boutabia-Chéraitia

De manière générale:

\vec{E}_M : champ créé par la charge q au point M.



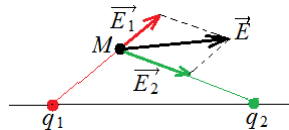
$$E_M = K\frac{|q|}{r^2}$$

Remarques:

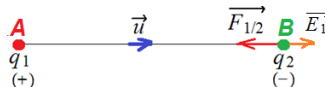
↪ Si on a plusieurs charges $q_i \Rightarrow \vec{E}_M = \sum_i \vec{E}_i$

Exemple:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



↪ q_2 placée dans \vec{E}_1 créé par $q_1 \Rightarrow q_2$ soumise à $\vec{F}_{1/2} = q_2 \vec{E}_1$



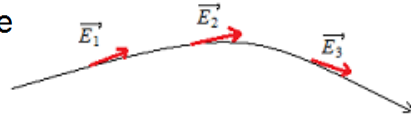
↪ de manière générale, toute charge q placée dans un champ extérieur \vec{E}_{ext} sera soumise à une force $\vec{F} = q\vec{E}_{ext}$.

6

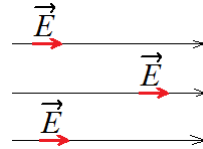
BIOELECTRICITE

Pr B. Boutabia-Chéraitia

↪ Une **ligne de champ** est une courbe tangente en chacun de ses points au vecteur \vec{E} . Son sens est celui de \vec{E} .



Si les lignes de champ sont **rectilignes, parallèles**, et de **même sens** le champ est dit **uniforme**:



$$\vec{E} = Cste$$

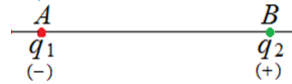
Exercice 2:

Deux charges q_1 et q_2 , placées respectivement en A et B sont séparées par une distance de $5cm$. Sur la droite (AB) , où peut-on placer une troisième charge pour qu'elle ne subisse aucune force? Cette charge peut-elle être indifféremment positive ou négative?

On donne : $q_1 = -8\mu C$; $q_2 = 3\mu C$

Réponses:

M : point situé sur la droite (AB) .



7

BIOELECTRICITE

Pr B. Boutabia-Chéraitia

q_1 va créer en M un champ \vec{E}_1
 q_2 va créer en M un champ \vec{E}_2 } $\Rightarrow \vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

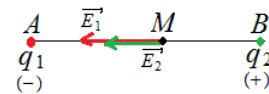
Si on place une charge q_3 en $M \Rightarrow q_3$ sera placée dans le champ \vec{E}_M

$\Rightarrow q_3$ sera soumise à: $\vec{F} = q_3 \vec{E}_M$

q_3 immobile $\Leftrightarrow \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{E}_M = 0$

M entre A et B

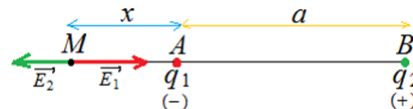
$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 \neq 0 \Rightarrow q_3$ ne sera jamais immobile.



M à la distance x à gauche de A

$$E_1 = K \frac{|q_1|}{x^2} \quad E_2 = K \frac{|q_2|}{(x+a)^2}$$

Si $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0 \Rightarrow E_1 = E_2$



$$\Rightarrow \frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|q_2|}{(x+a)^2} \Rightarrow 5x^2 + 80x + 200 = 0$$

$\Rightarrow x = -12.89cm$ ou bien $x = -3.1cm$: valeurs rejetées car x doit être positive (distance).

8

BIOELECTRICITE

Pr B. Boutabia-Chéraitia

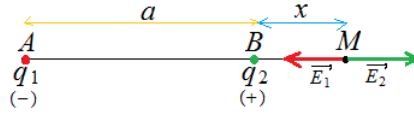
M à la distance x à droite de B

$$E_1 = K \frac{|q_1|}{(x+a)^2} \quad E_2 = K \frac{|q_2|}{x^2}$$

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0 \Rightarrow E_1 = E_2$$

$$\Rightarrow \frac{|q_1|}{(x+a)^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \Rightarrow 5x^2 - 30x - 75 = 0$$

$$\Rightarrow x = -1.89\text{cm} : \text{rejetée, ou bien } x = 7.89\text{cm.}$$



En conclusion: indépendamment de son signe, la charge q_3 ne sera immobile qu'à la distance 7.89cm à droite de B.

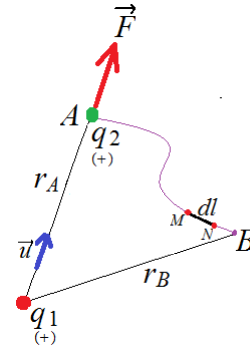
3- TRAVAIL D'UNE FORCE ELECTRIQUE

La charge q_2 suit un parcours quelconque entre A et B. Le travail de la force \vec{F} s'écrit:

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \int_A^B dW = \int_A^B \vec{F} \cdot \vec{dl} = \int_A^B K \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \vec{u} \cdot \vec{dl}$$

dW : travail élémentaire de \vec{F} entre M et N.

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



9

BIOELECTRICITE

Pr B. Boutabia-Chéraitia

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = K|q_1 q_2| \int_A^B \frac{1}{r^2} \vec{u} \cdot \vec{dl}$$

$$\vec{u} \cdot \vec{dl} = \|\vec{u}\| \|\vec{dl}\| \cos \theta$$

$$= dl \cos \theta \equiv dr$$

$$\Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = K|q_1 q_2| \int_A^B \frac{1}{r^2} dr = K|q_1 q_2| \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right] = Kq_1 q_2 \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right]$$

$\Rightarrow W_{A \rightarrow B}$ est indépendant du chemin suivi.

4- ENERGIE ET POTENTIEL ELECTRIQUES

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \frac{Kq_1 q_2}{r_A} - \frac{Kq_1 q_2}{r_B}$$

On peut écrire cette relation sous la forme:

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = E_p(A) - E_p(B) \quad [E_p] = \text{Joules (J)}$$

$E_p = K \frac{q_1 q_2}{r}$: énergie potentielle électrostatique du système composé de q_1 et q_2 distantes de r .

