



## I) Travail d'une force électrostatique un champ électrique uniforme:

Le travail  $\vec{F}$  de la force qui a fait déplacer la boule sous l'action du champ électrique uniforme  $\vec{E}$

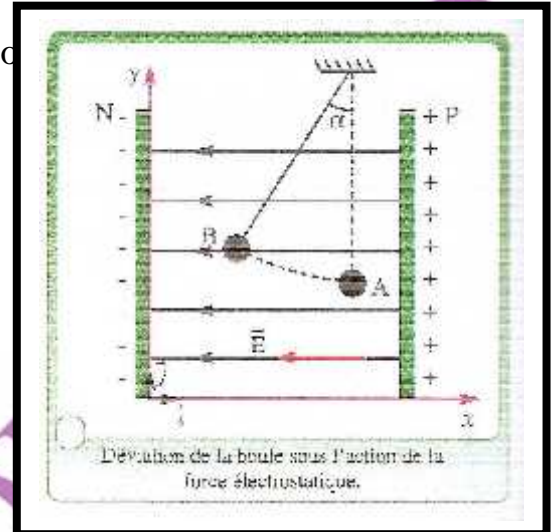
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = q \times \vec{E} \cdot \vec{AB}$$

Avec :

$$\vec{E} = -E \cdot \vec{i} \quad \text{et} \quad \vec{AB} = (x_B - x_A) \cdot \vec{i} + (y_B - y_A) \cdot \vec{j}$$

Donc :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times E \times (x_A - x_B)$$



**Conclusion :**

Le travail de la force électrique appliquée à une charge dans un champ électrique uniforme est indépendant du chemin suivi ; il ne dépend que de l'état initial  $x_A$  et de l'état final  $x_B$ . on dit que *la force électrique est conservative*.

## II) Potentiel électrique.

### 1) Définition d'une différence de potentiel électrique

La différence de potentielle (ou tension) entre 2 points A et B d'une région où règne un champ électrique uniforme est égale au produit scalaire des vecteurs  $\vec{E}$  et  $\vec{AB}$ .

$$U_{AB} = V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB} = E \times AB \times \cos(\ )$$

$\vec{E}$  : vecteur champ électrique ( $V \cdot m^{-1}$ );  $\vec{AB}$  : vecteur déplacement (m)  
 $U_{AB}$  : la tension (V);  $V_A$  : Potentiel en A (V) ;  $V_B$  : Potentiel en B (V)

**Remarque :**

Le champ  $\vec{E}$  est perpendiculaire aux surfaces équipotentielles et dirigé dans le sens de la décroissance de V « c-a-d vers les potentiels décroissants ».

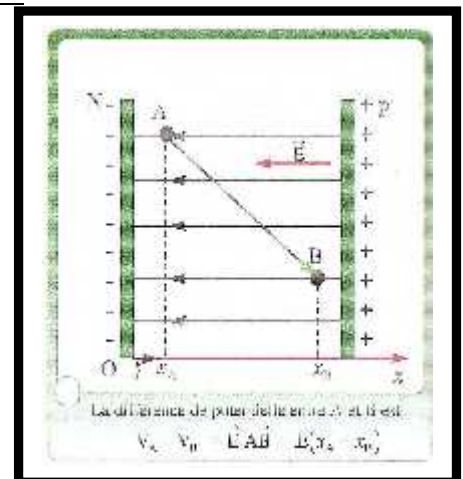
### 2) Potentiel électrique:

#### 2-1/ Définition :

$$V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB} = E \times (x_A - x_B) \quad \text{donc} \quad V_A - V_B = E \times x_A - E \times x_B$$

$$V_A = E \times x_A \quad \text{et} \quad V_B = E \times x_B \quad \text{d'où} : V = E \times x$$

Nouvelle unité pour le champ électrique  $\vec{E}$  : volt/mètre.



$$V = \mathbf{E} \times \mathbf{x}$$

(V)
(V.m<sup>-1</sup>)
(m)

Le potentiel créé par une charge ponctuelle  $q$ , placé dans le vide, en un point  $M$  de l'espace situé à la distance  $r$  de la charge  $q$  est donné par :

$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r} \quad \text{avec } V(M) = 0 \text{ quand } r \rightarrow \infty$$

**Conséquence :**

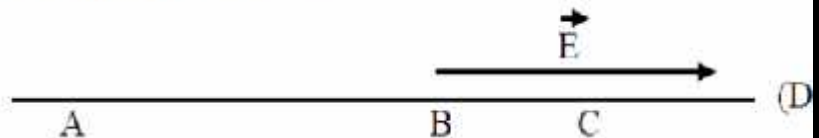
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times \vec{E} \cdot \vec{AB} = q \times [\mathbf{E} \times (\mathbf{x}_A - \mathbf{x}_B)] = q \times [\mathbf{E} \times \mathbf{x}_A - \mathbf{E} \times \mathbf{x}_B]$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times [V_A - V_B] = q \times U_{AB}$$

*Cette relation reste valable même si le champ électrique n'est pas uniforme.*

### Exercice d'application N°1 :

Trois points A, B et C situés dans cet ordre sur une droite (D), sont placés dans un champ électrostatique uniforme  $E$ , parallèle à la droite D et orienté comme le montre la figure. On donne  $AB = 30\text{cm}$  ;  $BC = 10\text{cm}$  ; intensité du champ  $E = 1500\text{V/m}$ . Calculer les tensions  $U_{AB}$  ;  $U_{BC}$  ;  $U_{CA}$ .



### 2-2/ Potentiel électrique créé par une distribution de charges ponctuelles

le potentiel électrostatique en un point  $M$  de l'espace créé par ensemble de charges ponctuelles. En utilisant le principe de superposition, le potentiel électrique en  $M$  est la somme du potentiel électrostatique créé par chaque charge :

$$V(M) = \sum V_i(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \sum \frac{q_i}{r_i}$$

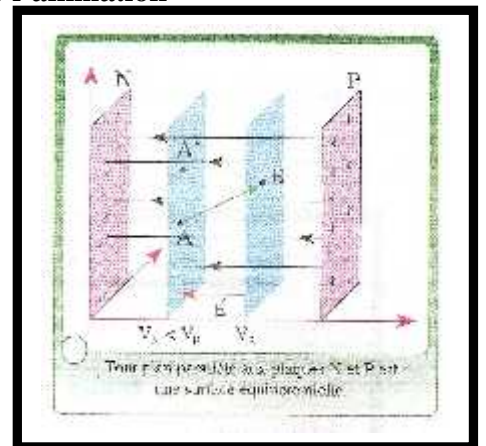
### 2-3/ Plan (ou surface) équipotentiel:

voir l'animation

Une surface (ou plan) équipotentielle électrique est une surface où la valeur du potentiel électrique est la même en tout point.

Les équipotentiels électriques possèdent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Le potentiel électrique est égal en tout point de la surface.
- ✓ Le champ électrique est perpendiculaire à la surface équipotentielle.
- ✓ Le sens du champ électrique définit le sens où il y a une chute de potentiel.



### Exercice d'application N°2 :

Une charge  $q = 10^{-6} \text{ C}$  se déplace en ligne droite, de A vers B, dans un champ électrostatique uniforme  $E$ , d'intensité  $E = 500 \text{ V/m}$ , tel que  $(AB, E) = 30^\circ$ . Calculer :

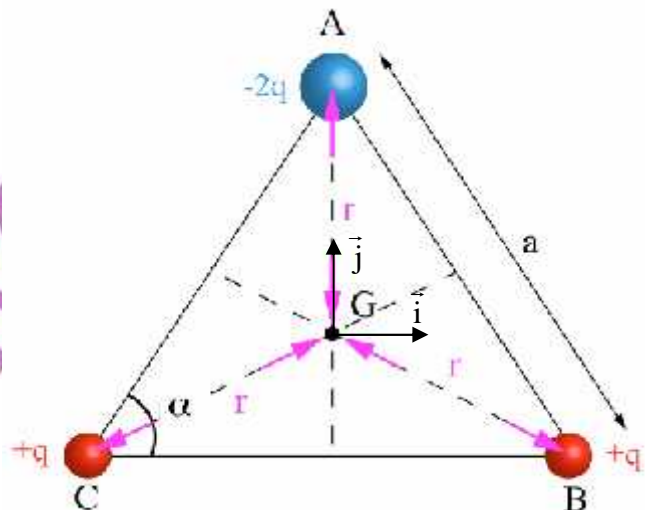
- 1) le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur la charge  $q$  au cours du déplacement AB.
- 2) La valeur de la tension  $U_{AB}$ .

Donnée : Distance AB = 10 cm.

### Exercice d'application N°3 :

Soit un ensemble de 3 charges électriques ponctuelles  $-2q, +q, +q$  disposées aux sommets A, B et C d'un triangle équilatéral de côté  $a$ , dans l'air.

1. Calculer le potentiel  $V$  et déterminer le champ  $\vec{E}$  créés par cette distribution de charges au centre de gravité G du triangle ( $q > 0$ ). On appellera  $\vec{j}$  le vecteur unitaire dirigé de G vers A d'origine G et  $\vec{i}$  le vecteur unitaire tel que  $(G, \vec{i}, \vec{j})$  forme une base orthonormée.



Les propositions :

Potentiel: A : 0    B :  $\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{2q}{3a^2}$     C :  $-\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{2q}{3a^2}$     D :  $\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{q}{\sqrt{3}a}$     E :  $-\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{q}{\sqrt{3}a}$

Champ: A : 0    B :  $\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{i}$     C :  $-\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{j}$     D :  $\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{j}$     E :  $\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{i}$

### III) Energie potentielle électrostatique :

#### 1) Notion de l'énergie potentielle électrostatique :

Energie potentielle électrique d'une charge  $q$  quelconque située en un point d'abscisse  $x$  dans un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  vaut :

$$E_{pe} (M) = q \times E \times x (M) + C$$

ou

$$E_{pe} (M) = q \times V (M) + C'$$

Avec C et C' sont des constantes qui dépendent du niveau de référence choisi.

## 2) La variation de l'énergie potentielle:

La variation de l'énergie potentielle électrique, entre le point A de potentiel  $V(A)$  et le point B de potentiel  $V(B)$ , égale :

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = E_{pe}(B) - E_{pe}(A) = q \times V(B) - q \times V(A)$$

## 3) Relation entre l'énergie potentielle et le travail d'une force électrostatique :

On a :  $\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = q \times [V(B) - V(A)]$  et  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times [V_A - V_B]$

Donc :

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = - W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$$

**Généralité:**

La variation d'énergie potentiel électrique d'un système se déplaçant d'un point A à un point B est égale à l'opposé de la somme des travaux effectués par les forces conservatives entre le point A et le point B.

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = - \sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F}_c)$$

## IV) Conservation de l'énergie totale d'une charge placée dans un champ électrostatique uniforme :

- L'énergie mécanique totale d'une charge  $q$  placée dans un champ électrique est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle électrique :

$$E_m(M) = E_c(M) + E_{pe}(M)$$

- Si une charge évolue spontanément dans un champ électrique (sans autre force que celle du champ électrique), on peut déterminer sa vitesse acquise au bout d'un certain déplacement :

✓ Soit à l'aide du théorème de énergie mécanique:

$$\Delta E_m = 0$$

✓ Soit à l'aide du théorème de énergie cinétique :

$$E_c = -q \times V = -q \times (V_B - V_A)$$

## ∅) L'électro-Volt :

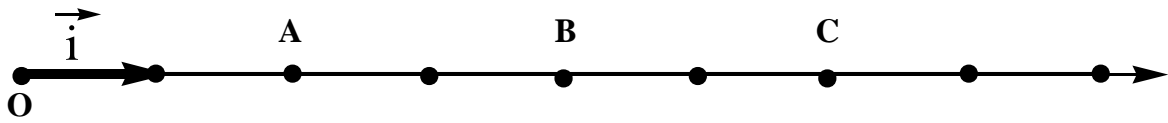
Si  $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C et si le potentiel  $V = 1$  V alors  $E_{pe} = 1$  eV « *électron volt* » ;

$1 \text{ eV} = 1 \times 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

### Exercice d'application N°4 :

On considère trois points A, B et C situés sur l'axe (OX) dans un champ électrostatique  $\vec{E} = 2.10^4 \cdot \vec{i}$  avec  $\|\vec{i}\| = 10 \text{ cm}$ . On donne :  $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$ .



- 1) Calculer les tensions  $U_{BA}$  ;  $U_{BC}$  et  $U_{CA}$ .
- 2) Déterminer la distance entre 2 plans équipotentiels qui ont une différence de potentiel  $U_1 = 5.10^3 \text{ V}$  et  $U_2 = 15.10^3 \text{ V}$ .
- 3) Calculer en joule puis en électro-volt la variation de l'énergie potentielle électrostatique d'une charge  $q = 3e$  lors de son déplacement du plan équipotentiel A au plan B.

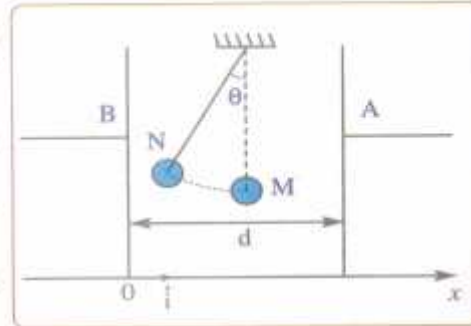
### Exercice d'application N°5 :

Un pendule électrostatique, de longueur  $l = 20 \text{ cm}$  et de charge  $q = 20 \text{ nC}$ , est en équilibre entre deux plateaux verticaux et parallèles A et B.

La distance entre ces deux plateaux est  $d = 10 \text{ cm}$ . Le champ électrostatique uniforme existant est d'intensité  $E = 5.10^3 \text{ V.m}^{-1}$ .

En l'absence du champ électrostatique, le pendule se trouve en équilibre au point M situé au milieu de la distance d.

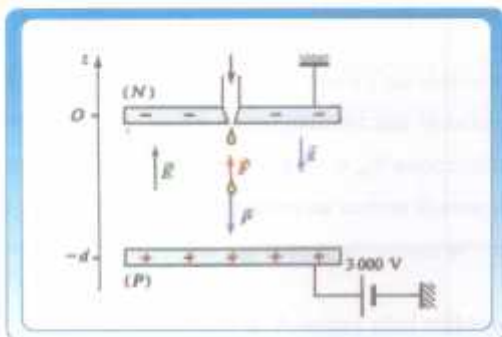
En appliquant la tension  $U_{AB}$  entre les plateaux, le pendule s'écarte de la verticale d'un angle  $\theta = 45^\circ$ .



- 1- Donner les caractéristiques du champ électrostatique  $\vec{E}$ . Calculer la tension  $U_{AB}$ .
- 2- Déterminer l'expression du travail de la force électrostatique agissant sur le pendule quand il se déplace de M vers N en fonction de  $q$ ,  $E$ ,  $l$  et  $\theta$ . Calculer sa valeur.
- 3- En déduire la variation de l'énergie électrostatique  $\Delta E_{pe}$  entre les deux positions M et N.
- 4- On choisit comme origine des énergies potentielles électrostatiques  $E_{pe} = 0$  au plan du plateau B. Calculer  $E_{pe}(M)$  l'énergie potentielle électrostatique au point M. En déduire  $V_M$  le potentiel électrique au point M.

### Exercice d'application N°6 :

On applique une tension  $U_{PN} = 3000 \text{ V}$  entre deux plaques métalliques parallèles horizontales séparées par une distance  $d = 5 \text{ cm}$ .



On lâche une goutte d'huile de masse  $m = 2,8.10^{-14} \text{ kg}$  et de charge  $q = 10e$  sans vitesse initiale à partir de la plaque N, elle arrive à la plaque P avec la vitesse  $v = 0,27 \text{ mm.s}^{-1}$ .

\* On choisit comme origine des énergies potentielles et de pesanteur : le plan passant par la plaque N.

- 1- Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de la goutte d'huile à la plaque P.
- 2- Calculer l'énergie potentielle électrostatique de la goutte à la plaque P. En déduire l'énergie potentielle totale  $E_p$ .
- 3- Comparer l'énergie totale  $E_p$  à celle  $E_N$  à la plaque N. Conclure.

DELAHI MOHAMED