



## TITRE DE LA LECON : CHAMP ÉLECTROSTATIQUE

### I. SITUATION D'APPRENTISSAGE

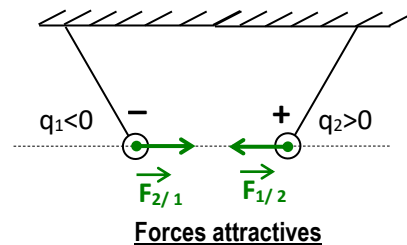
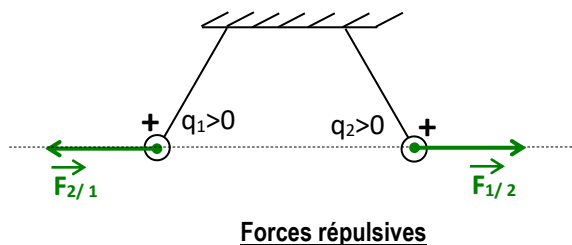
Pendant la saison des pluies, à Dabou, Essoh, élève en classe de 1<sup>ère</sup> C scientifique au Lycée Moderne Léboutou Dabou, voit des éclairs illuminer le ciel. Craintif, il veut comprendre le phénomène. Approché, son aîné décrit évasivement que cela est dû à une décharge entre pôles de nuages chargés et qu'il existe des champs électrostatiques entre ces nuages. Voulant en savoir davantage, il entreprend avec ses camarades de classe, sous la conduite de leur professeur, de définir l'espace champ électrostatique, de connaître ses caractéristiques, de représenter les lignes de champ électrostatique et de déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrostatique uniforme.

### II. CONTENU DE LA LECON

#### 1- FORCE ELECTROSTATIQUE :

##### Interactions et forces :

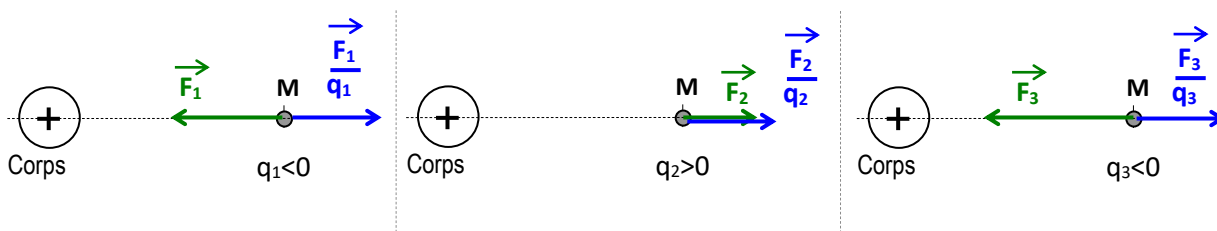
- \* Deux corps électrisés exercent l'un sur l'autre des forces à distance appelées **forces électrostatiques**.
- \* Deux charges électriques de même signe se repoussent.
- \* Deux charges électriques de signes opposés s'attirent.



#### 2 .LE CHAMP ELECTROSTATIQUE :

##### 2.1. Mise en évidence :

- \* Plaçons en un point (M) au voisinage d'un corps électrisé, différentes particules chargées.
- \* Représentons les forces électriques  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  subies par les particules.



\* Représentons les vecteurs  $\frac{\vec{F}_1}{q_1}$ ,  $\frac{\vec{F}_2}{q_2}$  et  $\frac{\vec{F}_3}{q_3}$ .

$q_1 < 0 \Rightarrow \vec{F}_1$  et  $\frac{\vec{F}_1}{q_1}$  ont même direction et sont de sens opposés.

$q_2 > 0 \Rightarrow \vec{F}_2$  et  $\frac{\vec{F}_2}{q_2}$  ont même direction et même sens.

$q_3 < 0 \Rightarrow \vec{F}_3$  et  $\frac{\vec{F}_3}{q_3}$  ont même direction et sont de sens opposés.

\* Les vecteurs  $\frac{\vec{F}_1}{q_1}$ ,  $\frac{\vec{F}_2}{q_2}$  et  $\frac{\vec{F}_3}{q_3}$  ont la même direction et le même sens.

On montre par ailleurs qu'ils ont la même valeur.

\* On note que  $\frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \frac{\vec{F}_3}{q_3} = \vec{E}(M)$

Avec  $\vec{E}(M)$  un vecteur lié au point (M) et indépendant des charges électriques placées en (M).

$\vec{E}(M)$  est appelé **vecteur champ électrostatique au point (M)**.

## 2.2. Définition :

En tout point (M) au voisinage d'un corps électrisé, il existe un vecteur champ électrostatique noté  $\vec{E}(M)$ .

Une particule de charge électrique (q) placée au point (M) subit la force électrostatique  $\vec{F}$

telle que :  $\vec{F} = q \times \vec{E}_{(M)}$   $\Leftrightarrow$   $\vec{E}_{(M)} = \frac{\vec{F}}{q}$

## 2.3. Caractéristiques de $\vec{E}(M)$ :

\* Point d'application : le point M.

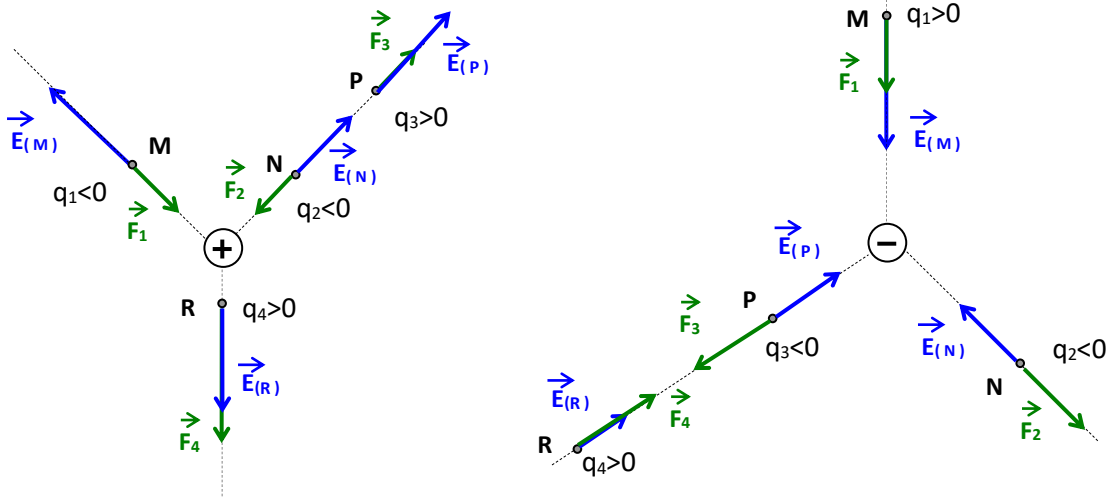
\* Direction : colinéaire à  $\vec{F}$ .

\* Sens : si  $q > 0$  : même sens que  $\vec{F}$ .  
si  $q < 0$  : sens opposé à  $\vec{F}$ .

\* valeur :  $\|\vec{E}_{(M)}\| = \frac{\|\vec{F}\|}{|q|}$   $\Leftrightarrow$   $E = \frac{F}{|q|}$   
(V.m<sup>-1</sup>)

Remarque :  $\vec{F} = q \times \vec{E}_{(M)}$   $\Leftrightarrow$   $F = |q| \times E$   
N C V/m

Représentons qualitativement les vecteurs force et champs électrostatiques autour des corps électrisés suivants.



### Activité d'application

Une charge électrique  $q$  est placée dans un champ électrostatique de valeur  $E = 2.10^3 \text{ V.m}^{-1}$ .

1 – La charge est soumise à une force de même sens que le champ  $\vec{E}$  et de valeur  $F = 6.10^{-3} \text{ N}$ . La valeur de la charge est :

- a)  $q = 3.10^{-6} \text{ C}$
- b)  $q = -3.10^{-5} \text{ C}$
- c)  $q = 30.10^{-6} \text{ C}$

2 – La charge est soumise à une force de sens contraire au champ et de valeur  $F' = 2.10^{-3} \text{ N}$ . La valeur de la charge est :

- a)  $q = 10.10^{-7} \text{ C}$
- b)  $q = -10.10^{-6} \text{ C}$
- c)  $q = -10.10^{-7} \text{ C}$

Choisis pour chacune de ces propositions la lettre correspondant à la bonne réponse.

### Solution

- 1 - a)
- 2 - c)

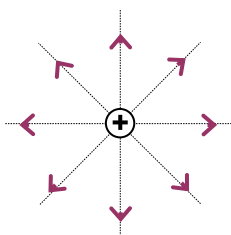
## 3. LIGNES DE CHAMP ELECTROSTATIQUE (OU SPECTRE ELECTROSTATIQUE )

### 3.1. Définition

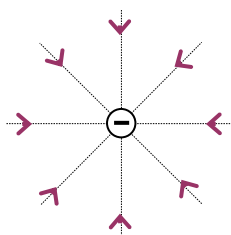
C'est l'ensemble des lignes tangentes aux vecteurs champs électrostatiques.

En chaque point de l'espace, ces lignes sont orientées dans le sens des vecteurs champs électrostatiques.

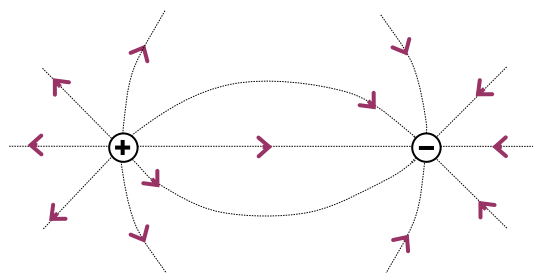
### 3.2. Exemples



Spectre radial divergent :



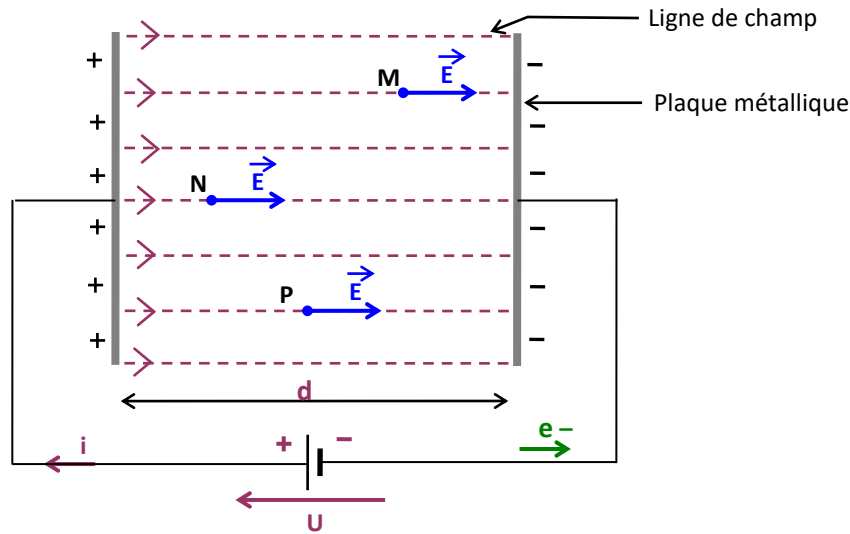
Spectre radial convergent :



Spectre de deux charges ponctuelles :

### 3.3. Champ uniforme :

**Obtention** : On applique une tension électrique entre deux plaques métalliques parallèles. Les charges électriques accumulées sur les plaques créent un espace champ électrostatique uniforme.



#### Caractéristiques :

- \* Les lignes de champ sont :
  - parallèles entre elles ;
  - perpendiculaires aux plaques ;
  - dirigées de la plaque positive vers la plaque négative.
- \* En tout point le vecteur champ électrostatique  $\vec{E}$  est le même et a pour caractéristiques :
  - Direction :perpendiculaire aux plaques,
  - Sens :dirigé de la plaque positive vers la plaque négative,

- Valeur : 
$$\vec{E} = \frac{U}{d}$$

 $\frac{V}{m}$ 

 $\frac{V}{m}$

$U$  : la tension appliquée entre les plaques.  
 $d$  : la distance entre les plaques.

#### Activité d'application

Une charge électrique  $q > 0$  est placée dans un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$  créé par deux plaques parallèles chargées l'une positivement et l'autre négativement. La charge  $q$  est soumise à une force  $\vec{F}$ . Tu considères les propositions suivantes :

- 1-  $\vec{F}$  dépend de la position de la charge dans le champ  $\vec{E}$  ;
- 2- La valeur de  $\vec{F}$  est constante ;
- 3-  $\vec{F}$  est parallèle aux plaques ;
- 4- La direction de  $\vec{F}$  est variable suivant la position de la charge dans le champ ;
- 5-  $\vec{F}$  est dirigée de la plaque positive vers la plaque négative.

Écris V si la proposition est vraie ou F si elle est fausse.

#### Résolution

- 1- F ; 2- V ; 3- V ; 4- F ; 5- V

## SITUATION D'ÉVALUATION

Dans le but de déterminer les caractéristiques du vecteur-champ électrostatique et la tension du fil lorsque la boule est sous l'effet de ce champ, votre professeur met à la disposition de ton groupe pendant la séance de TP, un pendule qui porte une boule de masse  $m = 2,5 \text{ g}$ , chargée positivement, et placée dans un champ électrostatique uniforme horizontal de valeur  $10^4 \text{ V/m}$ . Le fil s'écarte d'un angle de  $30^\circ$  de la verticale.

**Données :** la charge de la boule  $q = 1,44 \mu\text{C}$ ;  $g = 10 \text{ N/kg}$

Tu es le rapporteur du groupe.

1-Définis le champ électrostatique.

2-Détermine la valeur :

2.1.  $F$  de la force électrostatique exercée sur la boule ;

2.2-  $T$  de la tension du fil.

3-Déduis-en les caractéristiques du vecteur-champ électrostatique.

4- Détermine :

4-1 la valeur de l'angle  $\alpha$  que fait le fil avec la verticale, si la valeur du champ électrostatique est doublée.

4-2 la valeur de la tension du fil dans ce cas.

## **Solution**

1. Un champ électrostatique est le champ créé en tout point  $M$  au voisinage d'un corps électrisé.

2. Valeur :

$$2.1- F = |q|.E = 1,44 \cdot 10^{-6} \times 10^4 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

2.2- la tension  $T$

$$\text{Condition d'équilibre du pendule : } \vec{P} + \vec{T} + \vec{F} = \vec{0} ; \text{ donc : } P_x + T_x + F_x = 0 \Rightarrow 0 - T \sin \alpha + F = 0$$

$$T = \frac{F}{\sin \alpha} = 0,0288 \text{ N}$$

3. Caractéristiques du champ

Direction : horizontale - Sens : même sens que  $\vec{F}$  - Valeur :  $E = 10^4 \text{ V.m}^{-1}$

4. 4.1- la valeur de l'angle de déviation

$$\text{Pour } E' = 2E, \text{ on a } F' = 2F. \text{ Or } \tan \alpha = \frac{F}{P} \text{ d'où}$$

$$\tan \alpha' = \frac{F'}{P} \text{ c-à-d } \tan \alpha' = 2 \tan \alpha \text{ AN } \alpha = 49,10^\circ$$

$$4.2- \text{ La valeur de la tension } T' = \frac{F'}{\sin \alpha}$$

$$\text{AN : } T' = \frac{2 \times 14,4 \cdot 10^{-3}}{\sin 49,10} = 0,038 \text{ N}$$

## III. EXERCICES

### Exercice 1

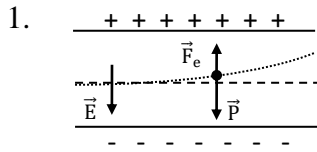
Entre les plaques métalliques parallèles et horizontales d'un oscillographe existe un champ électrostatique uniforme d'intensité  $E = 2000 \text{ V/m}$ . La plaque supérieure est chargée positivement.

1. Sur un schéma, représente le vecteur champ  $\vec{E}$  et les forces appliquées à un électron se trouvant en un point de ce champ.

2. Compare les intensités de ces forces. Conclue.

Données :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  ;  $g = 10 \text{ N/kg}$ .

## Corrigé



$$2. \frac{F_e}{P} = \frac{eE}{mg} = 3,5 \cdot 10^{13} \Rightarrow F_e = 3,5 \cdot 10^{13} P. P \text{ est négligeable devant } F_e$$

### Exercice 2

1- Calcule la valeur  $F$  de la force électrostatique  $\vec{F}$  subie par un électron se trouvant dans un champ électrostatique de valeur  $E = 100 \text{ V/m}$ .

2- Compare cette valeur au poids  $P$  de l'électron

3- Conclue

Données : Électron :  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  ;  $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $g = 10 \text{ N/kg}$

## Corrigé

1-  $F = |q| \cdot E = 1,6 \cdot 10^{-19} \times 100 = 1,6 \cdot 10^{-17} \text{ N}$

2-  $P = mg = 9,1 \cdot 10^{-30} \text{ N}$      $\frac{F}{P} = 175 \cdot 10^{10}$      $F = 175 \cdot 10^{10} P$

3-  $P$  négligeable devant  $F$ .

### Exercice 3

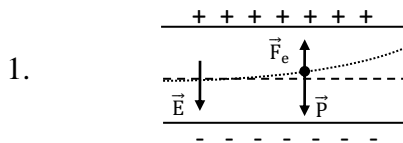
Entre les plaques métalliques parallèles et horizontales d'un oscillographe existe un champ électrostatique uniforme d'intensité  $E = 2000 \text{ V/m}$ . La plaque supérieure est chargée positivement.

1. Sur un schéma, représente le vecteur champ  $\vec{E}$  et les forces appliquées à un électron se trouvant en un point de ce champ.

2. Compare les intensités de ces forces. Conclue.

Données :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  ;  $g = 10 \text{ N/kg}$ .

## Corrigé

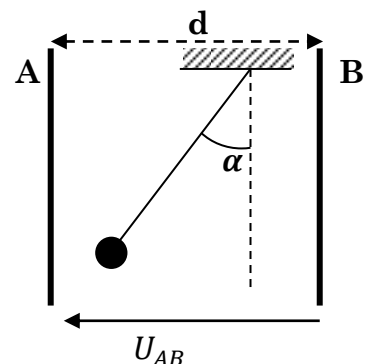


$$2. \frac{F_e}{P} = \frac{eE}{mg} = 3,5 \cdot 10^{13} \Rightarrow F_e = 3,5 \cdot 10^{13} P. P \text{ est négligeable devant } F_e$$

### Exercice 4

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques, ton professeur de Physique-Chimie réalise l'expérience ci-dessous.

Une sphère métallique électrisée de masse  $m = 0,1 \text{ g}$  est suspendue à un fil de soie. On place la sphère entre deux plaques métalliques A et B parallèles, distantes de  $d = 5 \text{ cm}$  et soumises à une d.d.p.  $V_A - V_B = 100 \text{ V}$ . Le fil de soie



s'incline d'un angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à la verticale. (Voir figure ci-dessus)

Le professeur demande à ton groupe de déterminer la valeur de ce champ électrostatique et celle de la charge électrique. Tu es le rapporteur du groupe.

Donnée :  $g = 10 \text{ N/kg}$ .

1. Définis l'espace champ électrostatique.
2. Représente, un schéma, les forces qui s'exercent sur la sphère électrisée.
3. Détermine :
  - 3.1- la valeur  $F$  de la force électrostatique  $\vec{F}$  à laquelle est soumise la sphère ;
  - 3.2- la valeur  $E$  du champ électrostatique  $\vec{E}$  ;
  - 3.3- la valeur absolue  $|q|$  de la charge électrique de la sphère.
- 4- Dédus la valeur algébrique de la charge électrique de la sphère et justifie ta réponse.

### Corrigé

1. C'est la région de l'espace où tout corps chargé est soumis à une force électrostatique.

2. Système : la sphère

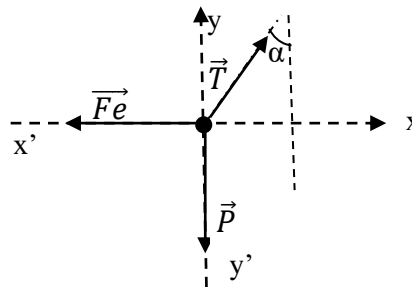
Référentiel terrestre suppose galiléen.

Bilan des forces extérieures :

$\vec{P}$ : Poids de la sphère ;

$\vec{T}$  : Tension du fil.

$\vec{F}_e$  : Force électrostatique



3.

3.1 Valeur de  $\vec{F}$

A l'équilibre,  $\vec{P} + \vec{T} + \vec{F} = \vec{0}$ . Sur les axes  $(x'x)$  et  $(y'y)$  :  $P_x + T_x + F_{ex} = 0$  (1) et  $P_y + T_y + F_{ey} = 0$  (2)

$$(1) : -F_e + T \sin \alpha = 0 \Rightarrow F_e = T \sin \alpha ; \quad \frac{(1)}{(2)} \Rightarrow \mathbf{F_e = P \tan \alpha}$$

$$(2) : T \cos \alpha - P = 0 \Rightarrow P = T \cos \alpha$$

$$F_e = mg \tan \alpha \Rightarrow F_e = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \tan 30^\circ \Rightarrow$$

$$\mathbf{F_e = 5,77 \cdot 10^{-4} \text{ N}}$$

3.2 Valeur de  $\vec{E}$

$$E = \frac{U_{AB}}{d} \Rightarrow E = \frac{100}{0,05} \Rightarrow \text{d'où } \mathbf{E = 2000 \text{ V.m}^{-1}}$$

3.3 Valeur  $|q|$

$$F_e = |q|E \Rightarrow |q| = \frac{F_e}{E} \Rightarrow |q| = \frac{5,77 \cdot 10^{-4}}{2000} \Rightarrow \mathbf{|q| = 2,88 \cdot 10^{-7} \text{ C}}$$

4. Valeur algébrique de la charge électrique

La sphère étant attirée par la plaque A, chargée positivement donc  $q < 0$  ; d'où  $\mathbf{q = -2,88 \cdot 10^{-7} \text{ C}}$

### Exercice 5

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques au Lycée Moderne d'Abengourou, les élèves de 1<sup>ère</sup> C placent dans un champ électrostatique uniforme horizontal, un pendule électrostatique qui porte une boule de charge négative et de masse  $m = 5 \text{ g}$ . Le fil s'écarte d'un angle  $\alpha$  de la verticale et la boule est en équilibre.

Données :  $E = 2 \cdot 10^3 \text{ V.m}^{-1}$ ,  $q = -5 \mu\text{C}$ ,  $g = 10 \text{ N/kg}$ .

Le professeur de physique-Chimie leur demande de déterminer la valeur de l'angle  $\alpha$  que fait le fil avec la verticale.

Tu es l'un des élèves de cette classe.

1. Définis la force électrostatique.
2. Représente des forces qui s'exercent sur la boule sur un schéma.
3. Détermine :
  - 3.1 la valeur de la force électrostatique que subie la boule ;
  - 3.2 la valeur de l'angle  $\alpha$ .

### Solution

1. La force électrostatique est une force d'interaction à distance entre des corps chargés : c'est la force subie par une particule chargée dans un espace champ électrostatique.

Système : la sphère

Référentiel terrestre suppose galiléen

Bilan des forces extérieures :

- $\vec{P}$  : Poids de la sphère ;
- $\vec{T}$  : Tension du fil ;
- $\vec{F}_e$  : Force électrostatique.

Représentation des forces extérieures

3.

3.1 Valeur de  $\vec{F}_e$

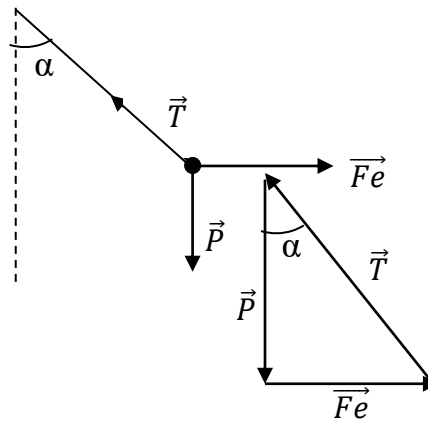
$$F_e = |q|E \quad \text{A.N : } F_e = 5.10^{-6} \times 2.10^3$$

$$\mathbf{F_e = 0,01 N}$$

3.2 Valeur de l'angle  $\alpha$ .

$$\tan \alpha = \frac{F_e}{P} = \frac{|q|E}{mg}$$

$$\tan \alpha = \frac{5.10^{-6} \times 2000}{5.10^{-3} \times 10} \quad \alpha = 11,31^\circ$$



## 2. DOCUMENTATION

### L'électrostatique

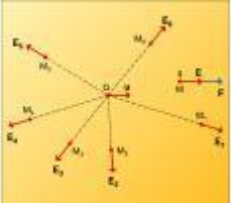
La matière est électriquement neutre puisqu'elle est composée d'atomes qui comportent autant d'électrons (chargés négativement) que de protons (chargés positivement). L'électrisation correspond à un gain ou à une perte d'électrons par rapport à la neutralité. Toute charge électrique est donc un multiple entier d'une charge insécable «  $e$  », dite charge élémentaire, la charge de l'électron étant égale à  $-e$ .

### La loi de Coulomb

Le phénomène d'électrisation se manifeste par l'existence de forces électrostatiques s'exerçant entre corps électrisés. Ces forces sont attractives pour deux charges de signes contraires et répulsives pour deux charges de même signe. Ainsi, l'électrostatique est construite à partir de la loi de Coulomb qui, comme la loi de Newton, précise que la force électrostatique s'exerçant entre deux charges ponctuelles est inversement proportionnelle au carré de la distance :  $\mathbf{F} = (1/4\pi\epsilon_0) (Qq/r^2) \mathbf{u}$  (où  $\mathbf{u}$  est un vecteur unitaire et  $\epsilon_0$  la permittivité du vide,  $\epsilon_0 = 10^7/4\pi c^2$ ,  $c$  étant la célérité de la lumière dans le vide). Cette loi postule la possibilité d'une action à distance sans contact matériel et introduit le concept de champ électrostatique : la charge  $Q$  crée en tout point de l'espace une perturbation, le vecteur champ électrostatique  $\mathbf{E} = (1/4\pi\epsilon_0) (Q/r^2) \mathbf{u}$ . La charge  $q$  placée dans ce champ  $\mathbf{E}$  est alors soumise à la force  $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$  (fig. 1).

Création d'un champ électrique





La charge  $Q$  crée un champ électrique en tout point de l'espace, ce champ exerce une force sur toute autre charge  $q$ .

Ces notions sont généralisées au cas de diverses distributions de charges.

La fonction potentiel électrostatique ( $V$ ) permet d'évaluer le travail ( $W$ ) des forces électrostatiques pour amener une charge  $q$  d'un point  $A$  à un point  $B$  en fonction de la différence de potentiel :

$W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$  Dans le cas d'une charge ponctuelle, la fonction potentiel s'exprime par

$$V(r) = (1/4\pi\epsilon_0) (Q/r) + C^{te}.$$

Le potentiel électrique s'exprime en volts ( $V$ ), le champ électrique en volts par mètre ( $V.m^{-1}$ ).