***Chapitre 1 : L’électrostatique***

I.1. **Phénomènes électrostatiques :**

**Notion de charge électrique**

 L'atome est la plus petite particule d'un corps qui puisse exister. Un corps est constitué d'un assemblage d'atomes. Une petite partie de la matière contient des milliards d’atomes. L'atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent les électrons. Le noyau est constitué de deux particules appelées nucléons. Ces particules sont les protons et les neutrons. Le nombre de protons dans un atome est égal au nombre d'électrons.

**RQ1**

 Les corps dont la couche périphérique ne comportant qu’un, deux, trois électrons libres auront tendance à perdre ces électrons et devenir des ions positifs. Les corps ayant ce type de propriété sont des bons conducteurs du courant électrique par exemple : le cuivre, l'aluminium et le fer.

**RQ2**

 Les corps dont la couche périphérique comportant 5, 6 ou 7 électrons auront tendance à gagner des électrons et devenir des ions négatifs. Les corps ayant ces propriétés sont des mauvais conducteurs du courant électrique. Ils s’appellent isolants.

1. **2. L'électrisation**

 L'électrisation est le phénomène d'apparition d'une charge électrique ou d'apparition des quantités d'électricité sur un corps. Il existe trois types d’électrisation :

 L'électrisation par frottement

 L'électrisation par contact

 L'électrisation par influence.

**Exemple 1 :**

 Prenons une boule métallique et suspendons-la par un fil. Ensuite, on approche une tige de verre après l'avoir frottée préalablement. On remarque que la tige attire la boule.

****

**Figure I.1**

**Exemple 2 :**

 On approche une tige en verre frottée avec un tissu en laine de petits morceaux de papier (figure 1.2). Ces derniers sont alors attirés par la tige.

****

**Figure I.2**

**1.3. Loi de Coulomb**

 Les propriétés de la force électrostatique exercée par une charge ponctuelle q1 sur une autre charge ponctuelle q2 ont été déterminés par Charles Auguste de Coulomb (1736-1806) comme suit :

1. La force électrostatique est dirigée selon la droite qui joint les deux charges q1 et q2.

2. Elle est proportionnelle au produit des charges : soit elle est attractive si les charges sont de signe opposé soit elle est répulsive si les charges sont de même signe.

3. Elle est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance entre les deux charges.

La loi de la force de Coulomb traduisant les propriétés ci-dessus est donnée par l’expression

suivante :



**Figure I.3**

 Avec :

, K =

 ), (I.2)

 La constante ε0 est appelée la permittivité électrique du vide (unités : Farad/m.

 L’expression (I.1) est considérée comme étant la base même de toute l'électrostatique. La force électrostatique possède exactement les mêmes propriétés vectorielles que la force de la gravitation et obéit au principe d'action et de réaction de la mécanique classique.

**I.4. Principe de superposition**

 D’après la propriété de l’additivité des forces électrostatiques auxquelles est soumise une charge q en présence de deux charges q1 et q2. La résultante des forces est calculée comme suit :



**Figure 1.4**

1. **5. Exemple**

 Trois charges q1, q2 et q3 sont disposées selon la figure1.5. Calculer la force résultante appliquée sur la charge q3.



**Figure 1.5**

 On donne :

 Q1 = 1.5 10-1 C, Q2 = -0.5 10-3 C, Q3 = + 0.2 10-3 C, AC = 1.2m, BC = 0.2m.

**I.5. Corrigé**

q1 et q3 ont le même signe, dans ce cas F1 est répulsive.

q2 et q3 ont un signe opposé, dans ce cas F2 est attractive.

⇒ 3 N.

⇒ 3 N.

Par conséquent, vaut :

= 3 N.



**Figure I.6**

1. **6. Champ électrique d’une charge ponctuelle**

A) Définition

 La force qui s’exerce sur une charge q au point M de la part d’une charge Q située au point O est donnée par :

 On remarque que l’expression ne dépend que de la charge Q et des coordonnées du point M.

 Cette expression définit une grandeur appelée champ électrique et qui est produit par la charge Q placée au point O en tout point M de l’espace, son expression vectorielle est :

EQ = U (I. 5)

**B) Lignes de champ**

 Le tracé des lignes de champ permet d'établir la topographie du champ électrique dans une région de l'espace. La ligne de champ donne l'orientation du champ électrique résultant en un point de l'espace. En tout point, le champ électrique résultant est tangent à la ligne de champ passant par ce point. Le tracé des lignes de champ obéit aux propriétés suivantes :

**Propriétés :**

-Les lignes de champ sont dans le plan des charges.

-Les lignes de champ sont produites par les charges positives et convergentes vers les charges négatives.



**Figure I.7: Exemples de lignes de champ : Deux charges de même signe (gauche) et deux charges de signes opposées (droite)**

**I.6. Potentiel électrique crée par une charge ponctuelle**

**I.6.1. Définition du potentiel électrique**

 La circulation élémentaire du champ EM crée par une charge Q sur un élément de longueur dl au point M d’une courbe quelconque (AB) (figure I.8) est donné par la relation suivante :

 dc = E(M). dl (I.6)

 Avec E(M) est le champ électrique crée par la charge Q au point O. On note ur le vecteur unitaire le long de la droite OM et r = OM et dl est le déplacement élémentaire.

E(M)= Ur (I. 7)

 On décompose dl selon ur et selon une autre direction qui lui est perpendiculaire telle que :

 dl = dr Ur + dl⊥  (I. 8)



**Figure I.8: Décomposition du vecteur déplacement élémentaire dl selon ur**

**et selon une direction perpendiculaire**

dc =E(M).dl = (dr Ur + dl⊥ ) = (I. 9)

 L’intégrale de la relation (I. 9) sur toute la courbe (AB) donne la circulation totale. En prenant en considération que :

 Ce qui donne :

Dans ce cas, la circulation du champ électrostatique entre A et B sur la courbe (AB) est donnée par :

 Cette circulation ne dépend pas du chemin suivi puisqu’elle ne dépend que des points de départ A et d’arrivée B.

 On définit alors le potentiel électrostatique comme étant la quantité V (M) dont la variation est l’opposé de la circulation du champ :

 (I. 13)

Avec : V (M) =

 En pratique, on utilise toujours des différences de potentiel au lieu du potentiel car la constante est choisie arbitrairement. Souvent elle est prise nulle à l’infini V (∞) =0.

Par conséquent, le potentiel électrique créé par une charge ponctuelle Q au point M est donné par :

V(M) = (I. 15)

V(∞) = 0

**I.6.2. Relation entre le champ et le potentiel électriques**

 En combinant les deux relations (I. 8) et (I. 15), on trouve la relation entre le champ et le potentiel électrostatique. Cette relation se présente sous plusieurs formes :

1. **Relation différentielle :**  dV(M) = E(M).dl (I. 16)
2. **Relation locale :**  dV(M) = gradV(M)dl (I. 17)
3. D’où on déduit : E(M) = - gradV(M) (I. 18)

D’après la relation (I. 18), on conclut que le champ électrostatique E(M) dérive du potentiel V.

Si on se place à une seule dimension suivante (OX), l’équation (I. 18) devient :

 , (I. 19)

1. **Relation intégrale** : la relation (I.19) est une relation importante dans les calculs champ-potentiel.

**I.6.3. Surfaces équipotentielles**

 Une surface équipotentielle est l’ensemble des points M se trouvant au même potentiel V :

V(M)=cte ⇒ dV(M) = 0 ⇒ E(M).dl = 0 ⇒ E ⊥ dl (I. 20)

**I.7. Généralisation et principe de superposition**

**I.7.1. Ensemble de charges ponctuelles : champ électrique**

 Soit un nombre de N charges ponctuelles qi, i = 1 ….N placées en des points Ai, i = 1..N. Soit une charge q placée en un point M. Chaque charge qi crée au point M un champ électrique E(M), la force exercée sur q s´écrit :

, (I. 21)

 D’autre part on a :

 , (I. 22)

 Par conséquent, la force peut être exprimée comme suit :

F(M) = q E(M) (I. 23)

**Théorème de superposition du champ électrique :**

 **Le champ électrostatique total en un point M est la somme vectorielle des champs élémentaires crées par chacune des charges élémentaires présentes.**

Ui  (I. 24)

**I.7.2. Ensemble de charges ponctuelles : potentiel électrostatique**

 A partir de la relation : dV = - E(M).dl , (I. 25)

 En prenant en considération le théorème de superposition, dans ce cas on a :

dV = - E(M).dl = -

Sachant que la somme d’un ensemble de différentielles étant la différentielle de la somme:

dV =

 On obtient alors : V(M) =

**I.8. Energie électrostatique**

**I.8.1. Définition**

 L’énergie électrostatique W d’un système de charges électriques, supposées initialement éloignées les unes des autres correspond au travail qu’il faut fournir pour amener ces charges à leurs positions finales.

**I.8.2. Cas d’une charge ponctuelle placée dans un champ électrique**

 On considère un champ électrique E(M) et son potentiel associé V définis en tout point M de l’espace. L’énergie potentielle d’une charge q située en un point P se calcule comme suit :

 **L’énergie potentielle électrostatique est définie à une constante près comme c’est le cas de l’énergie potentielle de gravitation. On choisit l’énergie potentielle nulle à l’infini, où les charges électriques sont inexistantes. C’est donc de l’infini que l’on va amener la charge q.**

 On a V∞ = 0 et EP∞ = W∞ = 0

 A tout instant, la charge électrique est soumise à une force électrostatique donnée par :

 F(M) = q E(M)

 Le déplacement de la charge q nécessite une force Fexp de telle sorte qu’elle compense la force électrostatique. Dans ce cas, le déplacement se fait à une vitesse constante. En appliquant le principe d’inertie sur le système composé de la charge q :

F(M) + Fexp = 0 ⇒ Fexp = - qE(M) (I. 30)

 Le travail nécessaire pour effectuer le déplacement de la charge q est la somme des travaux élémentaires de la force Fexp le long du chemin qui mène la charge de l’infini à P. Le travail élémentaire de la force Fexp est :

dWexp = Fexp.dl (I. 31)

dl étant le déplacement élémentaire de la charge q, le travail total s’écrit alors :

 Wexp = (I. 32)

 A partir de (I. 26) : dV= - E(M).dl

 D’où : Wexp = (I. 33)

 L’énergie potentielle électrostatique d’une charge q située en un point P dans un champ

électrostatique dont le potentiel V est défini comme suit :

 Wexp = q V(P) (I. 34)

**I.9. Le dipôle électrostatique**

**I.9.1. Potentiel électrostatique créé par deux charges électriques**

 Un dipôle est un système électrique constitué par deux charges électriques ponctuelles de charges égales et de signes opposés, +q et –q situées l’une de l’autre à une distance d (Figure I.9).

  

**Figure I.9: Exemples de dipôles électriques.**

**Les molécules de HCL, CO, H2O, CO2**

 Pour connaître l’effet électrostatique crée par ces deux charges autour d’elles nécessite le calcul du champ électrostatique. Cela se fait soit par l’application du principe de superposition en calculant la somme vectorielle des deux champs, soit par le calcul du potentiel.



 **Figure I.10**

 D’après ce qui précède, le potentiel créé en un point M repéré par ses coordonnées polaires (r, α)est simplement : V(M) = V+q (M) + V-q (M) =

 =

**RQ :**

 Lorsqu’on ne s’intéresse qu’à l’action électrostatique à grande distance, c’est à dire à des distances telles que r >> a, on effectue un développement limité de V. Au premier ordre en a/r, on obtient alors : r+ = r + a.cosα, r- = r - a.cosα

 D’où : r- - r+ = 2.a.cosα et r- × r+ = r2.

p = qd i = 2 aq i

V(M)=

**I.9.2. Champ créé par le dipôle**

 Pour calculer le champ électrostatique, il suffit d’utiliser l’expression E = - gradV en coordonnées cylindriques. On obtient alors :

*Er*=

**I.10. Théorème de Gauss**

 On considère maintenant une charge ponctuelle q située en un point O de l’espace. Le flux du champ électrique E créé par cette charge à travers une surface élémentaire quelconque orientée est par définition :

 dΦ = E . n ds

***Enoncé du théorème de Gauss :***

Le flux du champ électrique à travers une surface quelconque, fermée et orientée est égal, dans le vide, au produit de la charge Qint par la constante 1/ε0 .

**I.11. Champ électrique créé par un plan infini uniformément chargé**

 On considère un plan infini П portant une charge électrique par unité de surface σ . Pour utiliser le théorème de Gauss, il faut tout d’abord connaître les propriétés de symétrie du champ électrique E. Tous les plans perpendiculaires au plan infini П sont des plans de symétrie de celui-ci : E appartient aux plans de symétrie, il est donc perpendiculaire à П. Si ce plan est constitué par les vecteurs unitaires (i, j), on obtient alors E = Ez(x, y, z) k. Par ailleurs, l’invariance par translation selon les axes x et y fournit l’expression champ électrique E = Ez(z)k . Le plan П est lui-même plan de symétrie, donc E(z) est impaire.



**Figure I.11**

 Etant donné que ces propriétés de symétrie sont vérifiées, la surface de Gauss la plus adaptée est par conséquent un cylindre de sections perpendiculaires au plan et situé à des hauteurs symétriques.

=E(Z)S+E(-Z)+0=2ES

 Il s’ensuit que le champ électrostatique créé par un plan infini uniformément chargé vaut :

**I.12. Champ créé par une sphère uniformément chargée**

 On considère une sphère pleine de centre O et rayon R, chargée avec une distribution

volumique de charges ρ. Cette distribution possédant une symétrie sphérique, le champ électrostatique qui en résulte aura la même symétrie, donc E = Er ur.

****

 **Figure I.12**

 La surface de Gauss adaptée est simplement une sphère de rayon r et le théorème de Gauss donne la relation du flux comme suit :

 Lorsque r < R, on obtient la relation suivante pour le champ électrique :

 Lorsque r > R, la sphère de Gauss enferme un volume V supérieur à celui de la sphère. Mais la distribution de charges n’est pas nulle pour toute sphère dont le rayon est inférieur à R, ce qui fournit la relation suivante pour le champ électrique :

 Où Q est la charge totale portée par la sphère. On vient ainsi de démontrer, sur un cas simple, qu’une distribution de charges à symétrie sphérique produit à l’extérieur le même champ qu’une charge ponctuelle égale, située au centre O de la sphère.