

FORCE ET CHAMP ELECTROSTATIQUE

Séance 3 en Distanciel – PHY104 : Electrostatique et Electrocinétique

Ing. Agbassou Guenoukpati, Département du Génie Electrique, ENSI, Université de Lome,
Togo

3.1. Objectif du cours

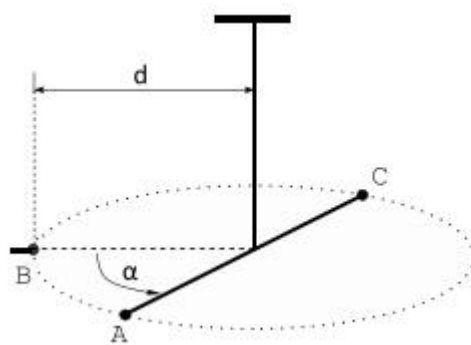
Au cours de cette presentation, vous apprendrez ce qui suit :

- Appliquer le théorème de Coulomb ;
- Calculer le champ électrostatique pour des distributions de charges discrète et continues ;
- Appliquer le principe de superposition

3.2. Force et champ électrostatiques

3.2.1. La force de Coulomb

Charles Auguste de Coulomb (1736-1806) a effectué une série de mesures (à l'aide d'une balance de torsion) qui lui ont permis de déterminer avec un certain degré de précision les propriétés de la force électrostatique exercée par une charge ponctuelle q_1 sur une autre charge ponctuelle q_2



A : sphère métallique initialement neutre

B : sphère chargée

C : contrepoids

Principe :

En approchant B de A, la sphère A se charge par contact avec la sphère B. Ayant la même charge, les deux sphères se repoussent. La torsion du fil vient équilibrer le moment de la force électrostatique.

1. La force est radiale, c'est à dire dirigée selon la droite qui joint les deux charges ;
2. Elle est proportionnelle au produit des charges : attractive si elles sont de signe opposé, répulsive sinon ;
3. Enfin, elle varie comme l'inverse du carré de la distance entre les deux charges.

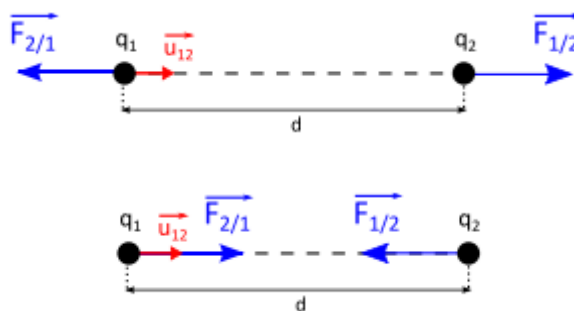


Figure 1

L'expression mathématique moderne de la force de Coulomb et traduisant les propriétés ci-dessus est la suivante

$$F_{1/2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u}$$

où la constante multiplicative vaut $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ SI (N m}^2\text{C}^{-2}\text{)}$. La constante ϵ_0 rôle particulier et est appelée la permittivité électrique du vide (unités : Farad/m).

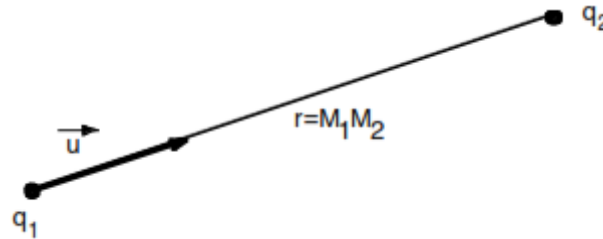


Figure 2

Remarques

1. Cette expression n'est valable que pour des charges immobiles (approximation de l'électrostatique) et dans le vide. Cette loi est la base même de toute l'électrostatique.
2. Cette force obéit au principe d'Action et de Réaction de la mécanique classique.
3. A part la valeur numérique de la constante K, cette loi a exactement les mêmes propriétés vectorielles que la force de la gravitation (loi de Newton). Il ne sera donc pas étonnant de trouver des similitudes entre ces deux lois.

Ordres de grandeur

- Quel est le rapport entre la force d'attraction gravitationnelle et la répulsion coulombienne entre deux électrons ?

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_e^2} \approx 4 \cdot 10^{42}$$

- Quelle est la force de répulsion coulombienne entre deux charges de 1 C situées à 1 km ?

$$\frac{F_e}{g} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{(10^3)^2} \frac{1}{10} \approx 10^3 \text{ kg}$$

C'est une force équivalente au poids exercé par une tonne !

3.2.2. Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle

Soit une charge q_1 située en un point O de l'espace, exerçant une force électrostatique sur une autre charge q_2 située en un point M. L'expression de cette force est donnée par la loi de Coulomb ci-dessus. Mais comme pour l'attraction gravitationnelle, on peut la mettre sous une forme plus intéressante,

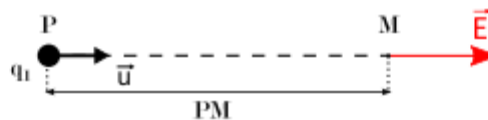
$$F_{1/2} = q_2 \vec{E}_1(M)$$

avec

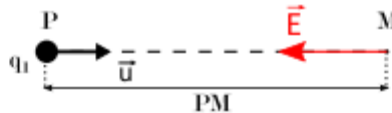
$$\vec{E}_1(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r^2} \vec{u}$$

L'intérêt de cette séparation vient du fait que l'on distingue clairement ce qui dépend uniquement de la particule qui subit la force (ici, c'est sa charge q_2 , pour la gravité c'est sa masse), de ce qui ne dépend que d'une source extérieure, ici le vecteur $\vec{E}_1(M)$.

• Si $q_1 > 0$:

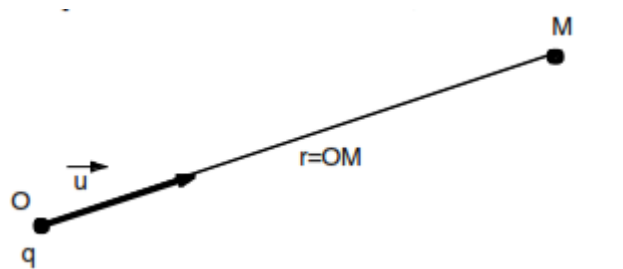


• Si $q_1 < 0$:



Définition : Une particule de charge q située en O crée en tout point M de l'espace distinct de O un champ vectoriel appelé champ électrostatique. L'unité est le Volt/mètre (symbole V/m).

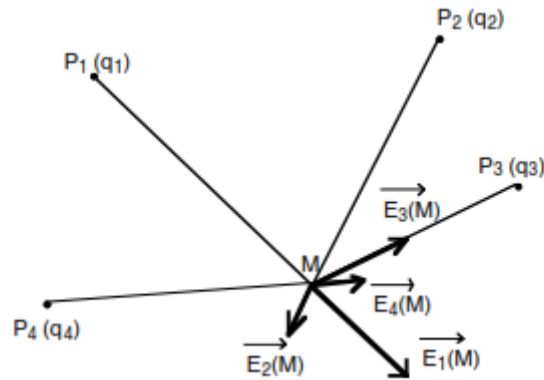
$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{u}$$



Cette façon de procéder découle de (ou implique) une nouvelle vision de l'espace : les particules chargées se déplacent maintenant dans un espace où existe (se trouve défini) un champ vectoriel. Elles subissent alors une force en fonction de la valeur du champ au lieu où elle se trouve.

3.3. Champ créé par un ensemble de charges

On considère maintenant n particules de charges électriques q_i situées en des points P_i : quel est le champ électrostatique créé par cet ensemble de charges en un point M ?



La réponse n'est absolument pas évidente car l'on pourrait penser que la présence du champ créé par des particules voisines modifie celui créé par une particule. En fait, il n'en est rien et l'expérience montre que la force totale subie par une charge q située en M est simplement la superposition des forces élémentaires

$$\vec{F}(M) = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \sum_{i=1}^n \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i = q \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i = q\vec{E}(M)$$

Où $r_i = P_i M$, $\vec{P_i M} = P_i M \vec{u}_i$. Il en résulte donc

$$\vec{E}(M) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i$$

est donc le champ électrostatique créé par un ensemble discret de charges.

Cette propriété de superposition des effets électrostatiques est un fait d'expérience et énoncé comme le **principe de superposition** (comme tout principe, il n'est pas démontré).

En pratique, cette expression est rarement utilisable puisque nous sommes la plupart du temps amenés à considérer des matériaux comportant un nombre gigantesque de particules. C'est simplement dû au fait que l'on ne considère que des échelles spatiales très grandes devant les distances inter-particulaires, perdant ainsi toute possibilité de distinguer une particule de l'autre. Il est dans ce cas plus habile d'utiliser des distributions continues de charges.

Références

- [1] Electromagnétisme PCSIP. Krempf - Editions Bréal 2003
- [2] Physique Cours compagnon PCSI T. Cousin / H.Perodeau - Editions Dunod 2009
- [3] Electromagnétisme 1ère année MPSI-PCSI-PTSI - JM.Brébec - Editions Hachette
- [4] Cours de physique, électromagnétisme, 1.Electrostatique et magnétostatique - D.Cordier – Editions Dunod
- [5] La physique en fac cours et exercices corrigés - Emile Amzallag - Joseph Cipriani - Jocelyne Ben Aïm - Norbert Piccioli
- [6] [http://wiki.sillages.info/index.php/Coordonnées polaires et cylindriques](http://wiki.sillages.info/index.php/Coordonnées_polaires_et_cylindriques)
- [7] <http://epiphys.emn.fr>
- [8] <http://turrier.fr/maths-physique/coordonees/systemes-de-coordonnees.html>
- [9] <https://nptel.ac.in/courses/115/106/115106122/>