

Ressources Educatives Libres

ELECTROSTATIQUE DANS LE VIDE

Université Nationale des Sciences,
Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey



Novembre 2023

Chapitre 1

Electrostatique dans le vide

1.1 Charges électriques

Dans tout phénomène physique intervient un objet dont la structure confère certaines propriétés à l'espace qui l'entoure. Dans le cas de la gravitation, l'objet est constitué par une masse. En électrostatique, l'objet est une charge, mesurée en coulomb (C) dans le système international. Il existe deux types de charge électrique : les charges de même nature se repoussent tandis que celle qui sont de nature différente s'attirent. Les uns sont dites positifs et sont mesurées par un nombre positif, les autres sont dites négatives et sont mesurées par un nombre négatif. Toute charge est multiple de la charge élémentaire : $e = 1,610^{-19}C$.

Les atomes sont constitués de particules chargées, à savoir :

- Les électrons : (e^-) responsables de la conduction électrique dans les métaux de charge $q_e = -e$ et de masse $m_e = 9,1.10^{-31}kg$;
- Les protons : (H^+) de charge $q_p = e$ et de masse $m_p = 1,67.10^{-19}kg$;

Ainsi que les ions et les porteurs de charge dans les semi-conducteurs qui peuvent être des électrons ou des des trous (absence d'électrons. On distingue :

- Les charges ponctuelles : supposées sans dimension, ce qui est analogue à l'hypothèse du point matériel en mécanique.
- Les distributions continues de charge : hypothèse d'une charge macroscopique permettant de définir une charge infinitésimale dq à laquelle on peut appliquer les formules établies dans le cas d'une charge ponctuelle, avant d'intégrer sur la distribution ? On définit ainsi les densités
 - linéique de charge sur un fil : $\lambda = \frac{dq}{dl}$;
 - surfacique (ou superficielle) de charge sur une surface $\sigma = \frac{dq}{ds}$;
 - volumique de charge dans un volume $\rho = \frac{dq}{d\tau}$

aux quelles correspondent respectivement les charges infinitésimales $\lambda dl, \sigma ds, \rho d\tau$.

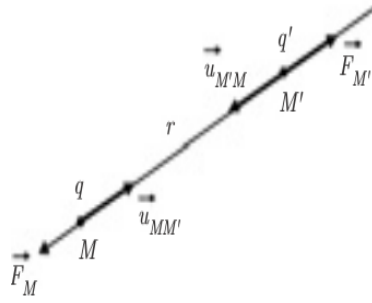
NB :

- Il y a toujours conservation de la charge électrique au cours d'une interaction électrostatique,
- la charge électrique est quantifiée ;
- la valeur absolue de la charge de l'électron est égale à celle du proton

1.2 L'interaction coulombienne

La loi de coulomb exprime la force $\vec{F}_M$ exercée par une charge ponctuelle q sur une charge ponctuelle q' , les deux charges étant distantes de $r = MM'$.

$$\vec{F}_M = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} \vec{u}_{12}, \vec{F}_{M'} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q'q}{r^2} \vec{u}_{MM'} \quad (1.1)$$



$\vec{u}_{MM'}$ est le vecteur unitaire porté par le support de q et q' orienté de M vers M' . La constante diélectrique du vide est ϵ_0 fixée telle que $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.10^9 \text{USI}$.

NB : La force coulombienne est répulsive si les charges sont de même signe, elle est attractive si elle sont de signe contraires.

1.3 Le champ électrostatique

Le champ électrostatique est défini à partir de la force de coulomb. Il faut distinguer les charges sources qui créent le champ électrostatique et la charge témoin qui permet de mettre en évidence ce champ électrostatique sans le perturber. Une charge témoin q_0 située en un point M où règne le champ électrostatique $\vec{E}(M)$ sera soumise à la force

$$\vec{F} = q_0 \vec{E}(M) \quad (1.2)$$

1.3.1 Expression du champ

Si la charge source est ponctuelle et vaut q , elle crée au point M , situé à la distance r de celle-ci, le champ :

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{u} \quad (1.3)$$

S'il s'agit d'un ensemble de charges sources ponctuelles q_i situées respectivement aux distances r_i du point M ; conformément au principe de superposition, le champ s'écrit :

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i \quad (1.4)$$

Pour une distribution volumique de charges sources réparties dans le volume V , le champ au point M vaut

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\rho(r) d\tau}{r^2} \quad (1.5)$$

la norme du champ électrostatique s'exprime en $V.m^{-1}$.

1.3.2 Propriété fondamentale du champ électrostatique

- Le champ créé par une charge source ponctuelle est un champ vectoriel à symétrie sphérique.
- Un champ vectoriel à symétrie sphérique et dont la norme varie en $\frac{1}{r^2}$ est conservatif.
- Tout champ électrostatique est dit conservatif, ce qui signifie que sa circulation sur une courbe fermée est nulle. Il dérive alors d'un potentiel scalaire V .
- Le champ électrostatique est orienté vers les potentiels décroissants.

1.4 Le potentiel électrostatique

1.4.1 Définition

A partir du champ électrostatique, on définit le potentiel V :

- Soit par l'équation locale, valable en tout point M de l'espace $\vec{E}(M) = -\overrightarrow{\text{grad}}V(M)$,
- Soit par l'équation intégrale définissant la circulation du champ $\vec{E}$ le long d'un circuit AB
- La circulation du champ $\vec{E}$ le long du circuit AB ne dépend du chemin suivi.

$$C_{\vec{E}/AB} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \quad (1.6)$$

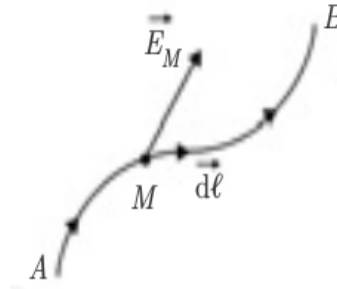


FIGURE 1.1 – Circulation du champ

1.4.2 Expression du potentiel électrostatique

Le potentiel est défini à une constante près. Pour choisir cette constante, on ne peut choisir $V(\infty) = 0$ que s'il n'y a pas de charge source située à l'infini. Le potentiel s'exprime en volt (V).

- Pour une source ponctuelle située à la distance r du point M :

$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i} + cste \quad (1.7)$$

- Pour une distribution continue de charges, V s'écrit

$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_v \frac{\rho(r)d\tau}{r} + cste \quad (1.8)$$

où v est le volume occupé par les charges sources.

1.4.3 Signification physique du potentiel

$V(M)$ représente le travail à fournir pour amener une charge témoin q_0 de l'infini au point M , divisé par la charge q_0 .

L'énergie potentielle électrostatique d'une charge située au point M où règne le potentiel $V(M)$ s'écrit donc

$$U = qV(M) = E_p \quad (1.9)$$

1.5 Lignes de champ et surface équipotentielles

1.5.1 Lignes de champ

Une ligne de champ est une courbe orientée à laquelle le champ $\vec{E}(M)$ est tangent en chacun des points M de la courbe.

Autour d'une charge ponctuelle q , les lignes de champ sont radiales, orientées vers l'extérieur (dites souvent divergentes) si la charge $q \geq 0$, et orientées vers la charge (dites convergentes) si $q \leq 0$.

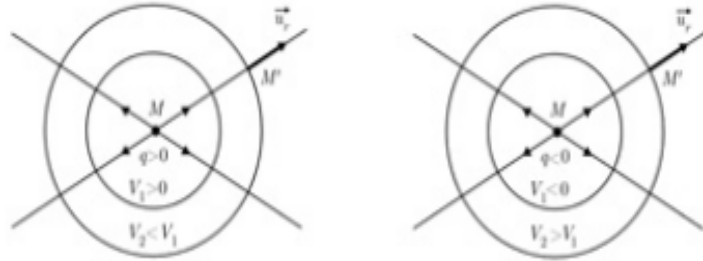


FIGURE 1.2 – Lignes de champ et Surfaces équipotentielles

Lorsque l'on considère deux charges ponctuelles de même valeur absolue, les lignes de champ sont très différentes selon que les deux charges sont de signe opposé, ou de même signe, figure

1.5.2 Surfaces équipotentielles

Une surface équipotentielle est l'ensemble des points tels que le potentiel est constant sur cette surface. Les lignes de champ sont normales aux surfaces équipotentielles voir Fig (1.2).