Chapitre 1 : Charge électrique-champ électrostatique dans le vide

A) Propriétés de la charge :

1) Quantification de la charge

L'unité de la charge est le Coulomb (C). L'expérience montre que la charge électrostatique, notée q, est quantifiée. q est toujours un multiple de la charge élémentaire $e = 1{,}6.10^{-19}C$, on a alors $q = \pm ne$ avec n entier.

2) Distribution volumique de charges

Toute distribution physique D est chargée en volume. Pour l'étudier, on « la découpe » en éléments de volumes mésoscopiques dV centrés autour de points P et portant chacun une charge élémentaire $dq(P)$. On peut alors définir une densité volumique de charges $\rho(P)$ ($[\rho] = [\mathrm{C.m^{-3}}]$) autour du point du P : $\rho(P) = \frac{dq(P)}{dV}$.

3) Conservation de la charge

Il s'agit de l'un des postulats de l'électromagnétisme : la charge totale d'un système isolé électriquement (absence d'échange de charge par contact) reste constante au cours du temps.

B) Force électrostatique et champ électrostatique

1) Définitions

2) Propriétés de $\vec{E}$

$\vec{E}(M)$ est un champ vectoriel dont l'intensité, la direction et le sens sont fonctions de la position du point M considéré.

Il sera utile d'apprécier la topographie du champ électrostatique en représentant les lignes de champ électrostatique c'est-à-dire les courbes tangentes au vecteur champ électrostatique.

Nous avons donc $[E] = [N.C^{-1}]$ mais nous montrerons que $[E] = [V.m^{-1}]$

C) Cas où la distribution D est une charge ponctuelle

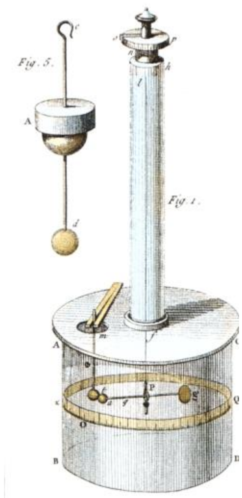
1) Loi de Coulomb

Quelques éléments historiques

On pourra regarder les vidéos suivantes :

http://uel.unisciel.fr/physique/elecstat/elecstat_ch02/co/observer_ch02_04.html

http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/video/coulomb/video/coulomb.php

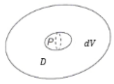


Coulomb a proposé une loi d'interaction électrique, validé par sa balance en 1785, en cherchant une analogie avec les travaux de Newton sur la gravitation.

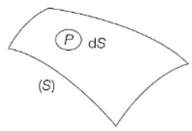
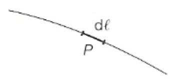
Densité volumique

Nous avons déjà rencontré la notion de densité volumique. Par exemple avec la masse volumique : $m = \rho V$. Si la masse n'est pas répartie de manière uniforme, il faut sommer intelligemment :

$$m = \iiint_V \rho(P)dV$$

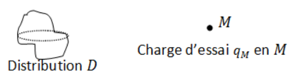


Distributions « idéales » : distributions surfaciques et linéiques de charges

Soit $dq(P)$ la charge contenue dans un élément de surface dS entourant un point P d'une distribution D. On définit la densité surfacique de charges au point P par $\sigma(P) = \frac{dq(P)}{dS}$ ($[\sigma] = [\mathrm{C/m^2}]$)  La charge totale q portée par la distribution de surface totale S est alors donnée par : $q = \iint_S dq = \iint_S \sigma(P)dS$	Soit $dq(P)$ la charge contenue dans un élément de longueur $dl(P)$ centré sur un point P d'une distribution D. On définit la densité linéique de charges au point P par $\lambda(P) = \frac{dq(P)}{dl}$ ($[\lambda] = \mathrm{C/m}$)  La charge totale q portée par la distribution de longueur totale L est alors donnée par : $q = \int_L dq = \int_L \lambda(P)d\boldsymbol{l}$

Distribution rayonnante et charge d'essai

On visualise la perturbation électrostatique rayonnée par une distribution de charges D en appréciant la force électrostatique $\vec{f}$ exercée par D sur une charge ponctuelle d'essai q_M placée en un point.



Une analogie forte peut être faite avec la théorie gravitationnelle de Newton : il faut une masse d'essai pour « concrétiser » le champ gravitationnel de la Terre :$\vec{f} = m\vec{g}$

2) <u>Champ électrostatique d'une charge ponctuelle</u>

D) Généralisation de loi de Coulomb

1) Champ électrostatique créé par une distribution discrète de charges

Soit une distribution de N charges ponctuelles fixes situées aux points P_i $(P_1(q_1), P_2(q_2), \dots, P_N(q_N))$.

L'expérience montre que la force résultante, notée $\vec{F}$, qui s'exerce sur une charge d'essai q_M située en M, est la somme vectorielle des N forces exercées par chaque charge q_{Pi} supposée seule, alors :

$$\vec{F}(M) = \sum_{i=1}^{N} \vec{f_i} = \sum_{i=1}^{N} \frac{q_M q_{Pi}}{4\pi\varepsilon_0 P_iM^3}\overrightarrow{P_iM} = q_M \sum_{i=1}^{N} \frac{q_{Pi}}{4\pi\varepsilon_0 P_iM^3}\overrightarrow{P_iM}$$

L'additivité des forces se traduit alors par l'additivité des champs électrostatiques car $\vec{F}(M) = q_M \sum_{i=1}^{N} \vec{E_i}(M)$

2) Champ électrostatique d'une distribution continue

E) Propriétés de symétrie

1) Principe de Curie :

Enoncé : Dans une expérience physique, les effets présentent au moins les symétries de leurs causes.

<u>Lignes de champ d'une charge ponctuelle</u> :

Représentons par des flèches le vecteur champ électrostatique créé par une charge positive et négative dans un plan contenant la charge et traçons les lignes de champ (orientées) associées :

Champs électrostatiques d'une charge ponctuelle positive (à gauche) et négative (à droite).

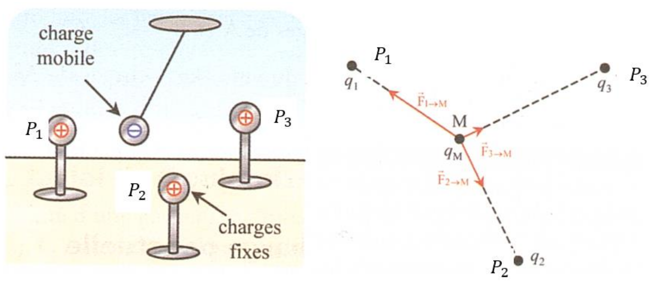
Lignes de champ d'une charge ponctuelle positive (à gauche) et négative (à droite).

Les lignes de champ associées à une charge ponctuelle placée en P sont représentées par des demi-droites. On peut remarquer que les lignes de champ électrostatique :

- divergent à partir d'une charge ponctuelle positive
- convergent vers une charge ponctuelle négative
- et dans les deux cas, ces lignes de champ ne sont pas fermées

D'après le principe de superposition, ces résultats s'étendent à des distributions de charges D quelconques globalement chargées.

<u>Principe de superposition</u>



2) Plan de symétrie et d'antisymétrie d'une distribution de charges

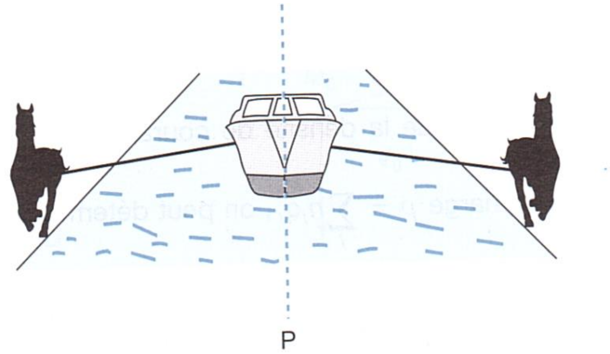
On dit qu'un plan (P_S) est un plan de symétrie pour une distribution de charges si pour tout couple de points P et P' symétriques par rapport à (P_S), on a :

On dit qu'un plan (P_a) est un plan d'antisymétrie pour une distribution de charges si pour tout couple de points P et P', symétriques par rapport à (P_a), on a :

3) Détermination de la direction du champ électrostatique à l'aide d'arguments de symétrie

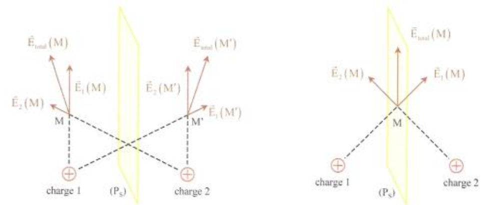
Principe de Curie

Voici un exemple :

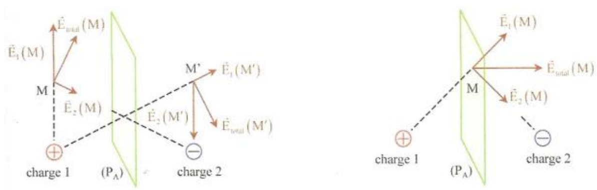


Cause	Effet
La traction des chevaux (symétrique par rapport à la droite P)	Le mouvement du bateau est également symétrique par rapport à ce plan

Exemples de plan de symétrie et d'antisymétrie :



Pour un point M appartenant au plan de symétrie (P_S) de la distribution de charges, alors $M \equiv M'$ et $\vec{E}(M') = [Sym\,\vec{E}(M)]_{/P_S} = \vec{E}(M)$: le champ électrostatique doit être son propre symétrique, ce qui n'est possible que s'il appartient à (P_S).



Pour un point M appartenant au plan d'antisymétrie (P_a) de la distribution de charges, alors $M \equiv M'$ et $\vec{E}(M') = -[Sym\,\vec{E}(M)]_{/P_a} = \vec{E}(M)$: le champ électrostatique doit être son propre symétrique, ce qui n'est possible que s'il est perpendiculaire à (P_S).