



Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Électrostatique



Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

1

Champ électrostatique

Interaction entre 2 charges ponctuelles - Loi de Coulomb

Électrostatique

Champ électrostatique

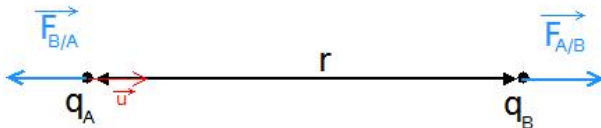
Symétrie et Invariances

Exemples

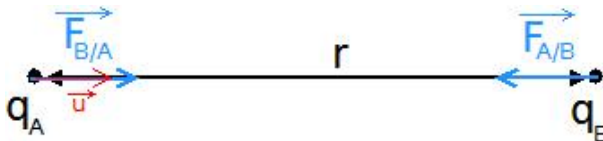
Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

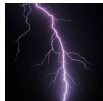


Charges de même signe :



Charges de signes opposés :

$$\epsilon_0 = \text{Permittivité du vide} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ SI}$$



Champ électrostatique crée par une charge ponctuelle

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

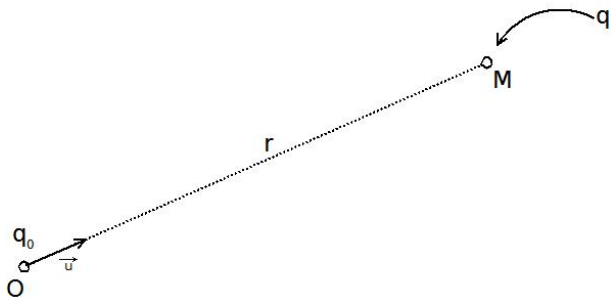
Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Quel est l'effet électrostatique de q_0 si on place en M une charge ponctuelle q ?





Quelques ordres de grandeurs

Dans un atome d'hydrogène, quel est l'ordre de grandeur du champ électrostatique créé par le noyau sur l'électron ?

.....

.....

.....

Il s'agit du champ électrique nécessaire pour ioniser un atome d'hydrogène. On peut comparer cette valeur au champ disruptif de l'air $\sim 10^6$ V/m.

.....

Champ électrostatique créé par plusieurs charges ponctuelles

Électrostatique

Champ électrostatique

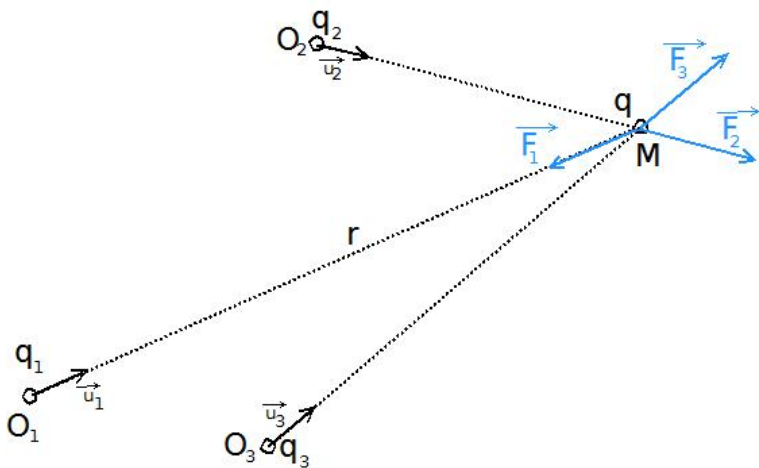
Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation





Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

.....

.....

.....

.....

.....

.....

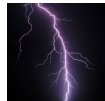
.....

.....

.....

.....

Champ électrostatique crée par une distribution continue de charges



Électrostatique

Champ électrostatique

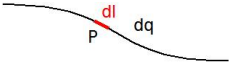
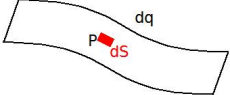
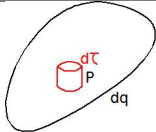
Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Distribution	Charge	Champ électrostatique créé
		
		
		



Lignes de champ

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

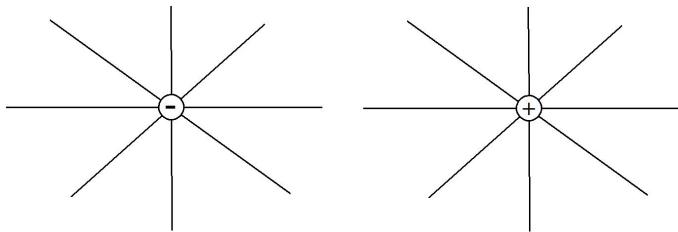
Potentiel électrostatique

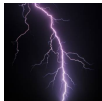
Analogie avec la gravitation

Définition :

On appelle "lignes de champ" les courbes tangentes au champ \vec{E} , orientées dans le même sens que \vec{E}

Le champ créé par une charge ponctuelle est radial.





Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

2

Symétrie et Invariances

Distribution symétrique par rapport à un plan Π

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

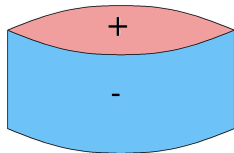
Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

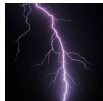
Définition

Soit un point M quelconque de la distribution de charges \mathcal{D} .
Si $M' = \text{sym}_{\Pi}(M)$ et $\rho(M') = \rho(M) \quad \forall M \in \mathcal{D}$, alors la distribution de charges \mathcal{D} est symétrique par rapport au plan (Π)
 (Π) est un plan de symétrie pour la distribution de charges \mathcal{D} .

Charge surfacique uniforme sur chaque surface.



Remarque : Soit une droite (d) . Si tous les plans contenant (d) sont plans de symétrie pour la distribution de charges \mathcal{D} , alors \mathcal{D} admet une symétrie de révolution par rapport à (d) .



Distribution anti-symétrique par rapport à un plan Π^*

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

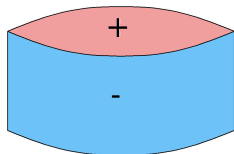
Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Définition

Soit un point M quelconque de la distribution de charges \mathcal{D} .

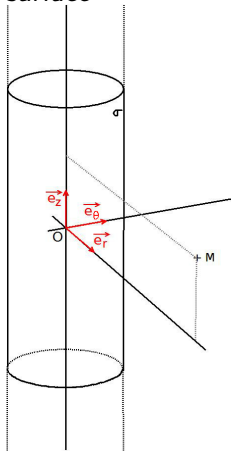
Si $M' = \text{sym}_{\Pi^*}(M)$ et $\rho(M') = -\rho(M) \quad \forall M \in \mathcal{D}$, alors la distribution de charges est anti-symétrique par rapport au plan (Π^*) .
 (Π^*) est un plan d'anti-symétrie pour la distribution de charges \mathcal{D} .





Invariance de la distribution

On considère un cylindre infini chargé uniformément σ en surface



Électrostatique

Champ électrostatique

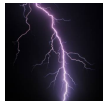
Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation



Invariances et symétrie du champ électrostatique

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

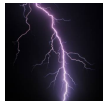
Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Principe de Curie

Les symétries et invariances des causes se retrouvent dans les effets.

- ▶ Ici causes = Distribution de charges et Effets = Champ \vec{E}
- ▶ Le principe de Curie permet de trouver directement les invariances de \vec{E} .



Champ électrostatique en un point d'un plan de symétrie

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

On considère deux charges ponctuelles en P et P' telles que $P' = \text{sym}_{\Pi} P$.

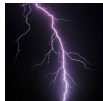
On observe le champ électrostatique créé par cette distribution de charges en M (point quelconque de l'espace). On considère aussi $M' = \text{sym}_{\Pi} M$

Que peut-on dire de $\overrightarrow{E}(M')$ par rapport à $\overrightarrow{E}(M)$?

.....

Représenter sur le schéma le cas où $M \in \Pi$, quelle est la particularité du champ $\overrightarrow{E}(M)$?

.....



Électrostatique

Champ électrostatique

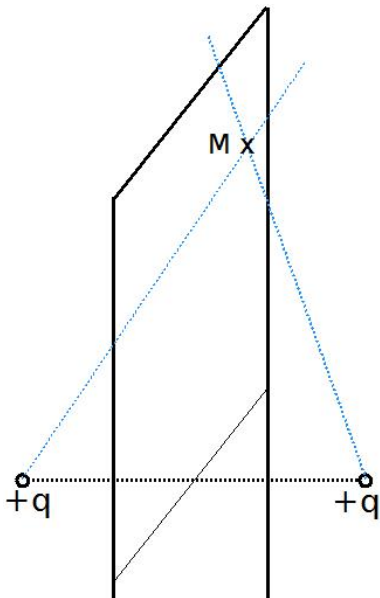
Symétrie et Invariances

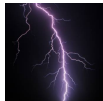
Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation





Champ électrostatique en un point d'un plan d'antisymétrie

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

On considère deux charges ponctuelles en P et P' tels que $P' = \text{sym}_{\Pi^*} P$.

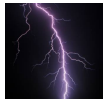
On observe le champ électrostatique créé par cette distribution de charges en M (point quelconque de l'espace). On considère aussi $M' = \text{sym}_{\Pi^*} M$

Que peut-on dire de $\overrightarrow{E}(M')$ par rapport à $\overrightarrow{E}(M)$?

.....

Représenter sur le schéma le cas où $M \in \Pi^*$, quelle est la particularité du champ $\overrightarrow{E}(M)$?

.....



Électrostatique

Champ électrostatique

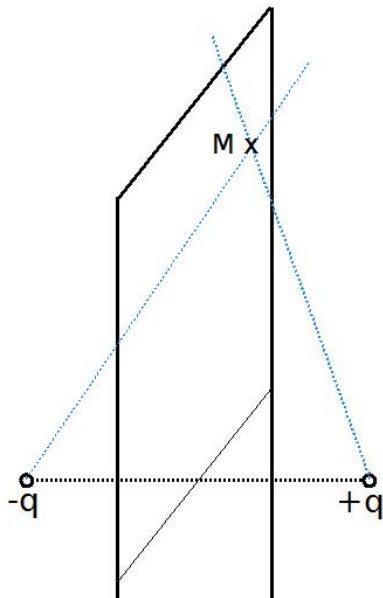
Symétrie et Invariances

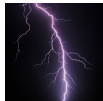
Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation





Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

3

Exemples



fil infini

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Schéma :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

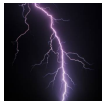
.....

.....

.....

.....

.....



Plan infini

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Schéma :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Segment (étude limitée à un plan médiateur)

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Schéma :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



boule homogène

Schéma :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

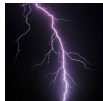
.....

.....

.....

.....

- Électrostatique
- Champ électrostatique
- Symétrie et Invariances
- Exemples**
- Expression du champ E
- Potentiel électrostatique
- Analogie avec la gravitation



Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

4

Expression du champ E

Flux du champ électrostatique à travers une surface

Électrostatique

Champ électrostatique

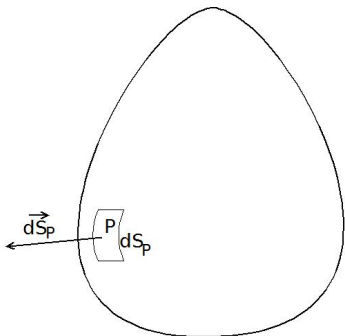
Symétrie et Invariances

Exemples

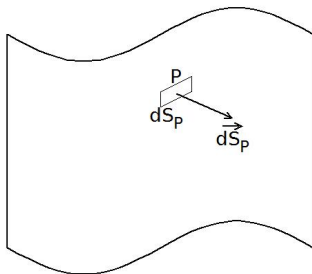
Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation



Surface Fermée

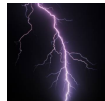


Surface Ouverte

L'orientation de \vec{dS} est toujours normale et sortante pour une surface fermée.

Définition :

Calcul pour une charge ponctuelle



Électrostatique

Champ électrostatique

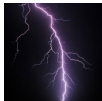
Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation



Théorème de Gauss

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Énoncé du théorème de Gauss

.....

.....

.....

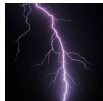
.....

.....

.....

.....

.....



Application 1 : Calcul de champs pour des systèmes à hautes symétries

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

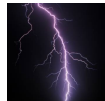
Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Exprimer le champ électrostatique créé en tout point de l'espace par :

1. un fil infini chargé linéiquement λ ;
2. une boule de rayon R , de centre O et chargé uniformément en volume avec une charge volumique ρ .

Formulation locale du théorème de Gauss



Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation



Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

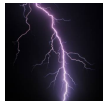
Expression du champ E

Potentiel électrostatique

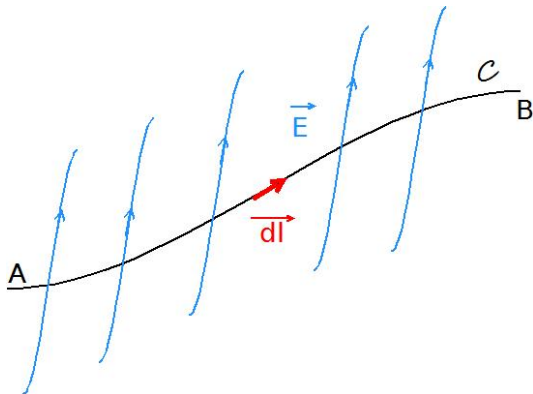
Analogie avec la gravitation

5

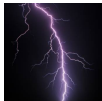
Potentiel électrostatique



Circulation du champ électrostatique



Définition :



Cas d'une charge ponctuelle

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Calculer la circulation de \vec{E} sur un chemin AB dans le cas où une charge ponctuelle q est située en O

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Généralisation pour N charges ponctuelles

Électrostatique

Champ électrostatique

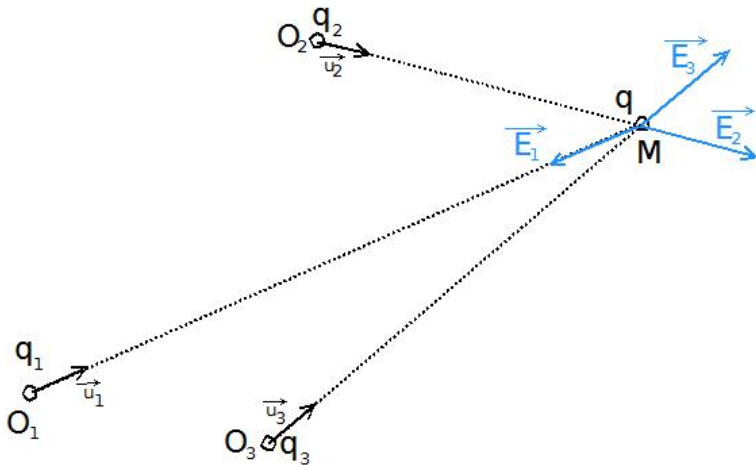
Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation





Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

.....

.....

.....

.....

.....

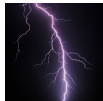
.....

.....

.....

.....

.....



Remarques :

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Cas d'une distribution continue :

$$V_{tot}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\rho d\tau}{r}$$

Le potentiel est défini à une constante près.

⇒ On ne peut prendre $V(+\infty) = 0$ que s'il n'existe pas de charge à l'infini

Application 1 (suite) :

Calcul du potentiel électrostatique créé par une boule homogène



Formulations locales

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

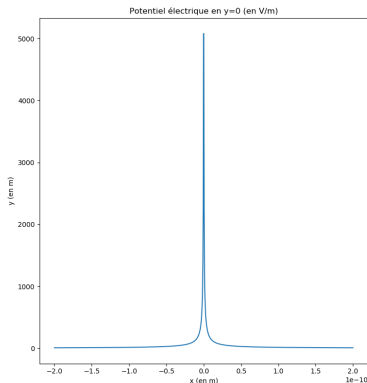
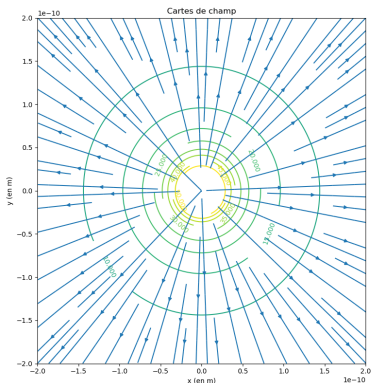
.....

.....

Cartes de champs

Les lignes équipotentielles sont aux lignes de champ.

Les lignes équipotentielles sont des lignes alors que les lignes de champ \vec{E} sont des lignes





Énergie potentielle

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

.....

.....

.....

.....

.....

.....

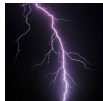
.....

.....

.....

.....

.....



Application 2 :

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

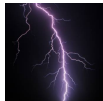
Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Déterminer l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison de l'électron dans un atome d'hydrogène.



Application 3 : Condensateur plan

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

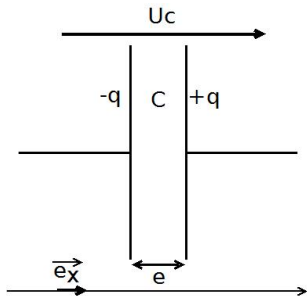
Potentiel électrostatique

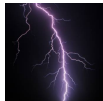
Analogie avec la gravitation

Un condensateur plan est constitué de deux armatures planes parallèles de surface S et distantes de e . Une des armatures porte une charge $+q$ et l'autre $-q$.

Modélisation électrostatique :

- ▶ Les deux plans sont infinis
- ▶ Répartition surfacique de charges σ uniforme





Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

1. Exprimer la capacité du condensateur puis déterminer sa valeur pour $S = 5 \text{ cm}^2$ et $e = 2 \text{ mm}$.

Capacité d'un condensateur plan infini idéal

2. Déterminer la densité volumique d'énergie électrostatique emmagasinée entre les armatures

Expression de la densité volumique d'énergie électrique (généralisation)



Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

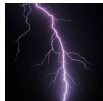
Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

6

Analogie avec la gravitation



Analogie avec la gravitation

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

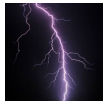
Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Grandeur	Électrostatique	Gravitation
Force		
Charge		
pour q_{ponc}		
Circulation		
Potentiel		
Gauss		



Application 4

Électrostatique

Champ électrostatique

Symétrie et Invariances

Exemples

Expression du champ E

Potentiel électrostatique

Analogie avec la gravitation

Exprimer le champ gravitationnel créé par la Terre en tout point de l'espace. En déduire la valeur de g intensité de pesanteur.

Données :

$$R_T = 6300 \text{ km} \quad M_T = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg} \quad \mathcal{G} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ SI}$$