

Chapitre EM 3 : Electrostatique

Le champ électrostatique est une perturbation des propriétés électriques de l'espace due à la présence d'une ou plusieurs charges immobiles. Ce champ est un champ de vecteurs: \vec{E} a donc une direction, un sens et une norme exprimée en

Qui créent le champ électrostatique?

I. Champ et potentiel créés par une source ponctuelle

1. Loi de Coulomb et conséquences

Loi de Coulomb : Soit une charge q placée en P . Elle crée en tout point M de l'espace un champ électrostatique $\vec{E}_P(M)$. Pour connaître ce champ, on place en M une charge test q' et on étudie la force exercée par la charge q en P sur la charge test q' en M .

Cas où q et q' sont de même signe

Cas où q et q' sont de signe opposé

.

On a $\vec{F}_{q \rightarrow q'} =$

d'où le champ électrique en M : $\vec{E}_P(M) =$

Champ créé par une charge ponctuelle:

Une charge positive crée un champ

Une charge négative crée un champ

L'intensité du champ électrostatique diminue quand on



Sur la charge, le champ électrostatique

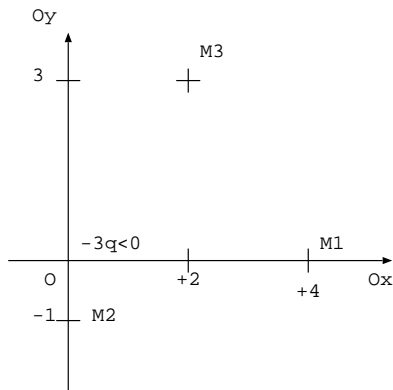
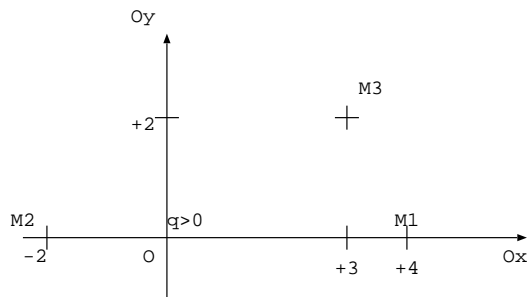
Ordres de grandeur de champs électriques:

Le champ électrique à la surface de la Terre est de l'ordre de 10^2 V.m^{-1} en absence d'orage et de 10^4 V.m^{-1} en présence d'orage.

La lumière émise par le soleil correspond à une onde électromagnétique qui transporte un champ électrique de l'ordre de 10^3 V.m^{-1} au voisinage de la Terre.

Le champ électrique créé par le noyau sur l'électron dans l'atome d'hydrogène est de l'ordre de (on donne $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.10^9 \text{ SI}$):

Exemples de calculs : exprimer les champs électrostatiques créés en M_1 , M_2 et M_3 par la charge placée en O dans chaque cas:

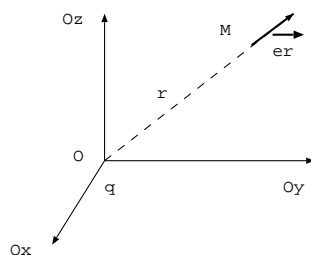


2. Potentiel électrique

Circulation du champ électrostatique créé par une charge ponctuelle:

On cherche à montrer que le champ électrostatique créé par une charge ponctuelle est à circulation conservative. Pour cela on calcule la circulation de ce champ électrique entre deux points A et B définie par

$$C_{A \rightarrow B} = \int_A^B \vec{E}(M) \cdot d\vec{OM}$$



Conséquence : expression du potentiel créé par une charge ponctuelle

Relation locale entre le champ et le potentiel électrostatiques:

Le champ électrostatique vérifie l'équation de Maxwell-Faraday $\vec{\text{rot}} \vec{E} = \vec{0}$

Or on rappelle que l'on a pour tout champ scalaire U : $\vec{\text{rot}}(\vec{\text{grad}}U) = \vec{0}$

Donc

Cohérence entre la relation locale et la relation intégrale:

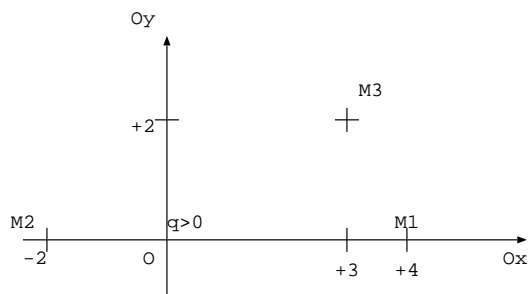
L'expression du potentiel créé en M par une charge ponctuelle q placée en O est :

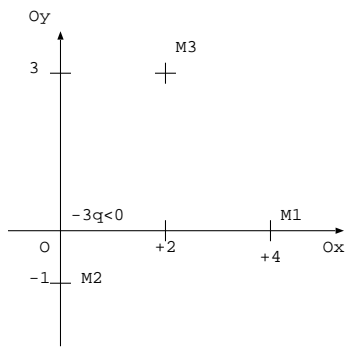
Généralisation: le potentiel électrostatique créé en M par une charge ponctuelle q placée en P s'écrit:

Une charge positive crée partout dans l'espace un potentiel

Une charge négative crée partout dans l'espace un potentiel

Exemples : exprimer les potentiels électrostatiques créés en M_1 , M_2 et M_3 par la charge placée en O :





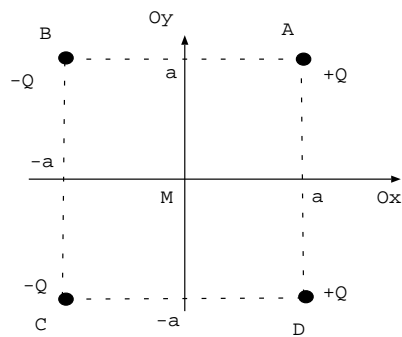
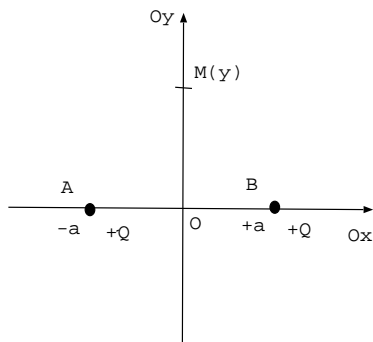
II. Champ et potentiel créés par une distribution discrète de charges

1. Théorème de superposition

Le champ électrostatique créé en M par une distribution de charges est

De même le potentiel créé en M par une distribution de charges est

Calculer le champ et le potentiel électrostatiques en M dans les deux cas.



2. Symétries

Le champ créé par une distribution discrète de charges n'est pas simple à calculer car chaque charge crée en M un champ électrostatique différent en norme, sens et direction. Ensuite il faut sommer ces vecteurs différents. D'où l'utilité de l'exploitation des symétries pour simplifier les calculs.

Il existe deux types de symétrie pour la distribution de charges:

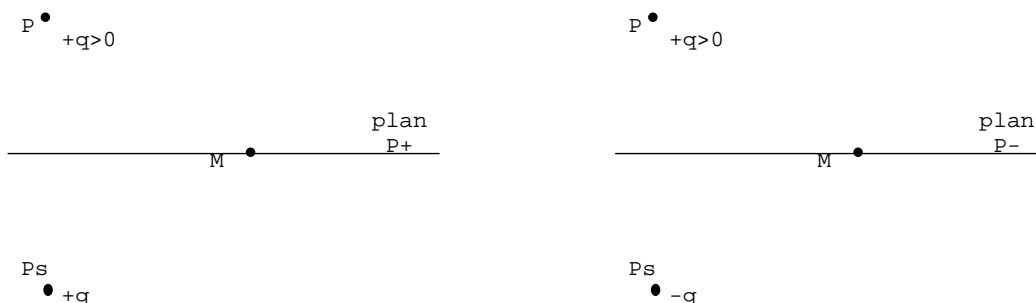
- Un plan de symétrie positive (ou plan de symétrie), noté \mathcal{P}^+ , est tel qu'en tout point symétrique par rapport à ce plan se trouvent deux charges identiques. Un plan de symétrie positive peut contenir des charges.
- Un plan de symétrie négative (ou plan d'antisymétrie), noté \mathcal{P}^- , est tel qu'en tout point symétrique par rapport à ce plan se trouvent deux charges opposées. Un plan de symétrie négative ne peut pas contenir de charges.

Dans les exemples qui suivent identifier tous les plans de symétrie:



Les symétries de la distribution de charges servent à déterminer la direction du champ électrostatique en un point M .

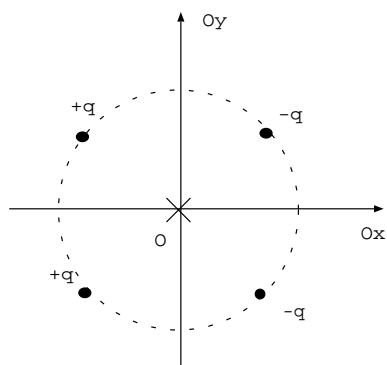
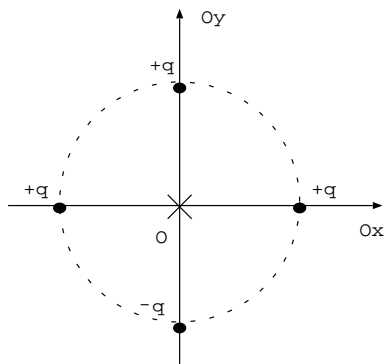
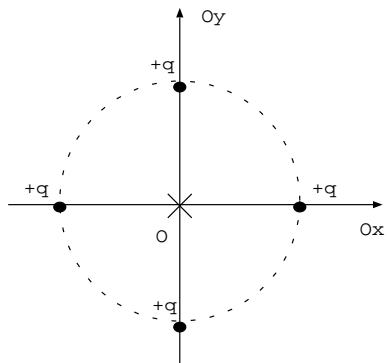
Constructions :



Conclusions :

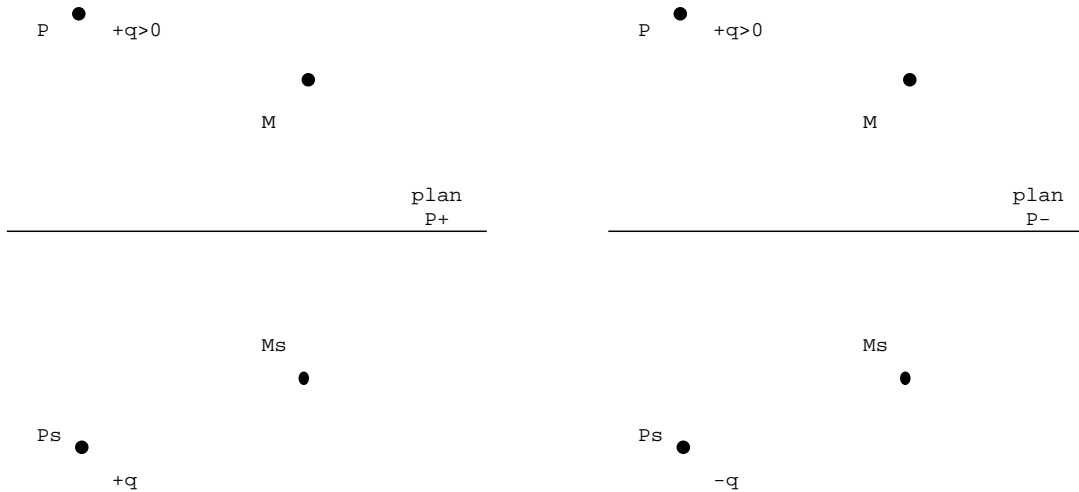
- En un point M d'un plan de symétrie \mathcal{P}^+ , le champ électrique est
- En un point M d'un plan d'antisymétrie \mathcal{P}^- , le champ électrique est

Dans les exemples suivants, prévoir la direction du champ électrostatique et exprimer le champ et le potentiel électrostatiques en O créés pour chacune des distributions de charges (le cercle a pour rayon R):



Les symétries de la distribution de charges servent à déterminer la parité de la fonction champ électrostatique et de la fonction potentiel.

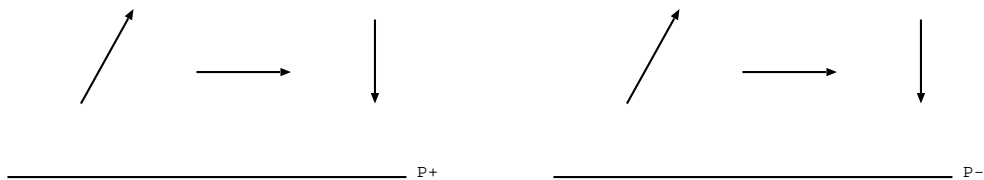
Constructions :



Conclusions :

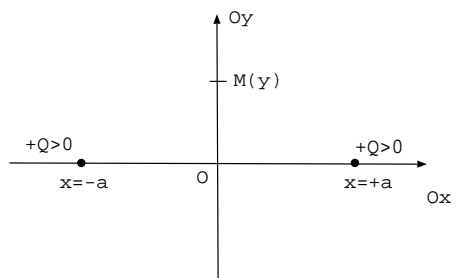
- Soit deux points M et M_s symétriques par rapport à un plan de symétrie \mathcal{P}^+ pour les charges. Les potentiels sont et les champs électrostatiques en ces deux points sont
- Soit deux points M et M_s symétriques par rapport à un plan d'antisymétrie \mathcal{P}^- pour les charges. Les potentiels sont et le champ électrostatique en M_s est

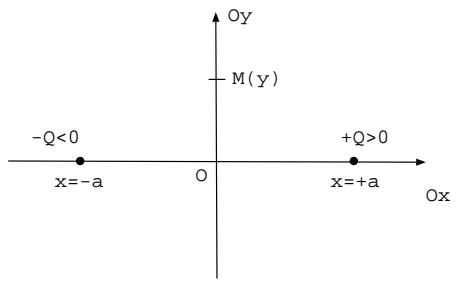
Compléter les schémas suivants:



Exemples: Dans ces deux exemples déterminer la direction du champ électrostatique en M appartenant à l'axe Oy , la relation entre $E(y)$ et $E(-y)$ et la relation entre $V(y)$ et $V(-y)$.

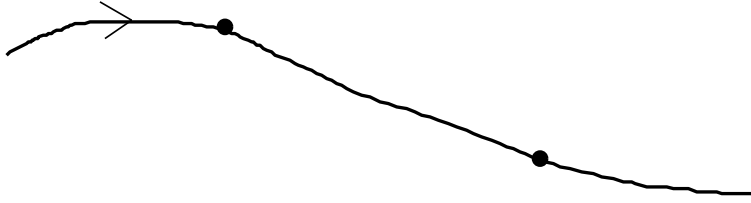
Exprimer le champ et le potentiel électrostatiques en M sur Oy et vérifier la cohérence avec les résultats précédents.





3. Topographie du champ électrique

Lignes de champ : ce sont des lignes tangentes au champ électrique en chacun des points et orientées dans le sens du champ électrique.

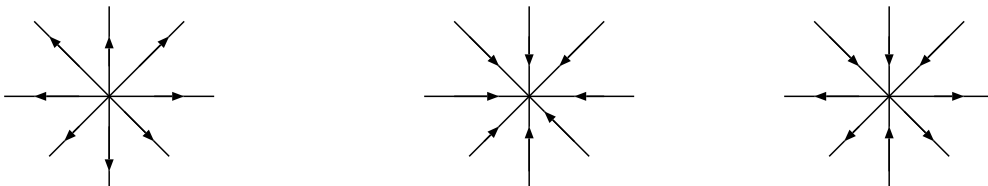


Equipotentielles : ce sont des surfaces en tout point desquelles le potentiel électrique est constant. Elle sont donc définies par $V(M) = V_0$.

Exemples: lignes de champ et équipotentielles pour une charge ponctuelle $q > 0$ ou $q < 0$:

A retenir:

Les lignes de champ se coupent en des points où se trouvent des charges ou en des points où le champ est nul.



Les équipotentielles ne peuvent pas se couper.

Les lignes de champ sont perpendiculaires aux équipotentielles en tout point.

Les lignes de champ sont dirigées des forts vers les bas potentiels, elles ne peuvent donc pas se refermer.