

Chapitre EM 4: dipôles électrique et magnétique

I. Le dipôle électrique

1. Définition :

Notations: P est le barycentre des charges positives, sa charge est $+q$ et N est le barycentre des charges négatives, sa charge est $-q$.

Un dipôle électrique est caractérisé par son moment dipolaire :

Unité de p :

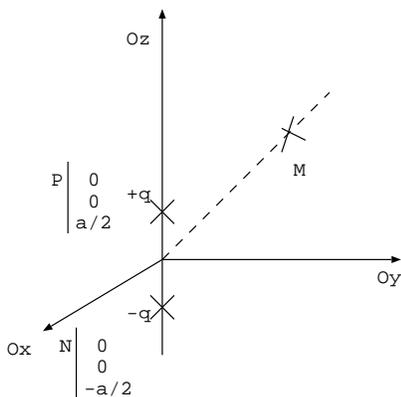
Unité utilisée couramment: le Debye: $1 D = 3,3 \cdot 10^{-30} C.m$

Exemples:

Les deux liaisons $H - O$ de la molécule d'eau font entre elles un angle $\alpha = 104,45^\circ$. Sachant que le moment dipolaire expérimental de l'eau est égal à $1,8546 D$ calculer le moment dipolaire que l'on peut associer à la liaison $H - O$.

2. L'approximation dipolaire : elle consiste à étudier le potentiel et le champ électriques créés par un dipôle placé en O , en un point M loin du dipôle. Cela signifie que la distance OM entre le dipôle et le point M est très grande devant la taille $a = PN$ du dipôle. On exprime alors le potentiel et le champ électriques en M en faisant un DL à l'ordre le plus bas non nul en a/r (a/r étant un infiniment petit d'ordre 1).

3. Expression du potentiel électrique dans l'approximation dipolaire



Expression du moment dipolaire:

Expression du potentiel en :

Donnée : $(1 + \epsilon)^n \approx 1 + n\epsilon$ pour ϵ petit.

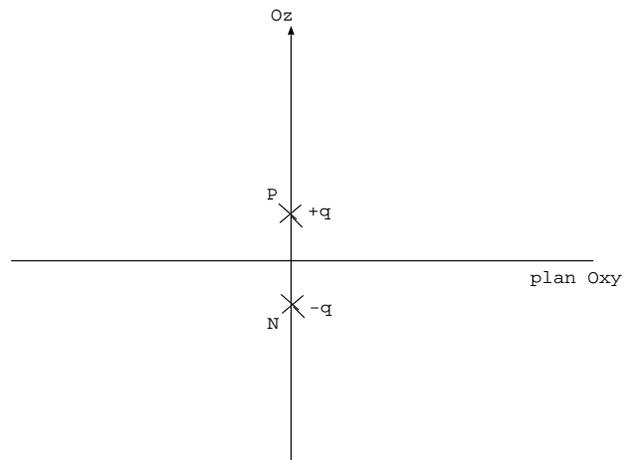
Remarque:

- Le potentiel ne dépend pas de ϕ :

- Pour $\theta = \pi/2$:

Pour $0 < \theta < \pi/2$:

Pour $\pi/2 < \theta < \pi$:



- L'énoncé peut donner le potentiel sous la forme intrinsèque (indépendante du système de coordonnées):

$V(M) = \frac{\vec{p} \cdot \vec{OM}}{4\pi\epsilon_0 OM^3}$. Cette expression s'écrit en coordonnées sphériques:

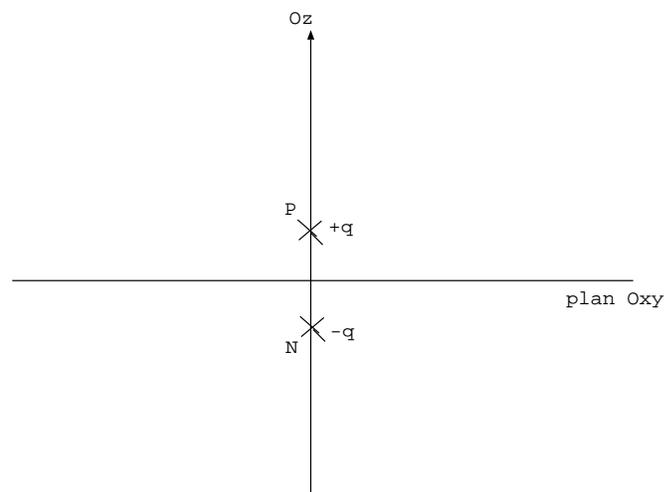
- Le potentiel créé par une charge ponctuelle varie en $1/r$

Le potentiel créé par un dipôle varie en

4. Expression du champ électrique dans l'approximation dipolaire

Données: en coordonnées sphériques: $\vec{\text{grad}} = \frac{\partial}{\partial r} \vec{e}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \vec{e}_\theta + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} \vec{e}_\phi$.

Expression du champ électrique pour $\theta = 0$, $\theta = \pi/4$ et $\theta = \pi/2$:



Remarques:

- le champ électrique ne dépend pas de ϕ :

- le champ électrique est nul selon \vec{e}_ϕ :

- Le champ électrique créé par une charge ponctuelle varie en $1/r^2$

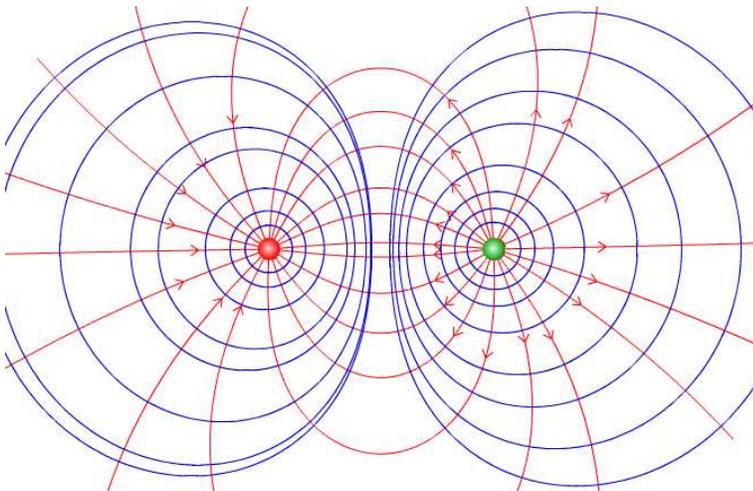
Le champ électrique créé par un dipole électrique varie en

Conséquence:

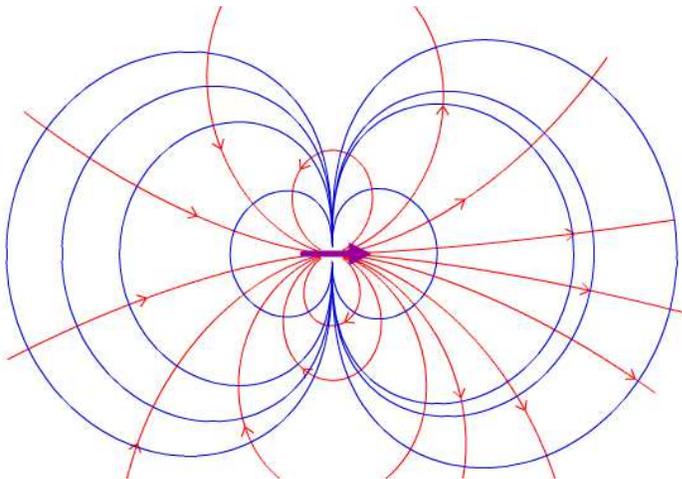
- L'énoncé peut donner l'expression intrinsèque du champ électrique: $\vec{E}(M) = \frac{3(\vec{p} \cdot \overrightarrow{OM})\overrightarrow{OM} - \vec{p}OM^2}{OM^5}$.
 On en déduit le champ électrique en coordonnées sphériques:

5. Lignes de champ et équipotentiels

Lignes de champ et équipotentiels d'une distribution de deux charges $+q$ et $-q$



Lignes de champ et équipotentiels dans l'approximation dipolaire



6. Action d'un champ électrique sur un dipôle

Expressions données dans un énoncé:

Soit un dipôle rigide de moment dipolaire \vec{p} placé en A et soumis à l'action d'un champ électrique extérieur \vec{E} .

Ce dipôle subit:

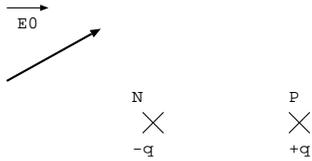
- la résultante des forces: $\vec{F} = (\vec{p} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{E}(A)$

- le couple résultant $\vec{\Gamma} = \vec{p} \wedge \vec{E}(A)$

Son énergie potentielle est $E_p = -\vec{p} \cdot \vec{E}(A)$

Cas d'un champ extérieur uniforme:

Force résultante:



Couple résultant:

Energie potentielle d'un dipôle:

Conséquence:

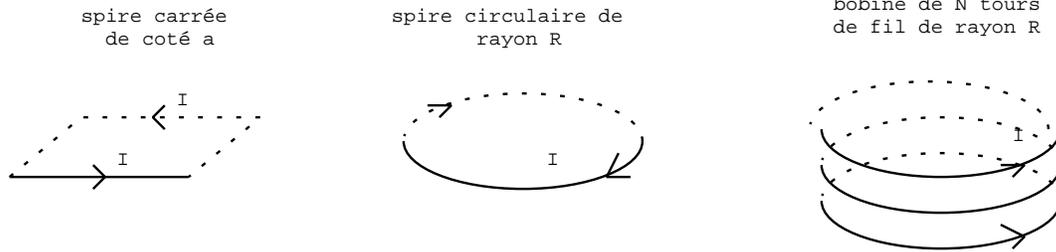
Cas d'un champ extérieur non uniforme:

On considère la molécule de méthanal CH_2O de moment dipolaire $\vec{p} = p\vec{e}_z$ avec $p > 0$. Ce dipôle est placé en M sur l'axe Oz à la cote z . En O se trouve un cation portant une charge $+Q$. Exprimer et étudier la force subie par le dipôle pour $z > 0$ et pour $z < 0$.

II. Le dipôle magnétique

1. **Définition** : On appelle dipôle magnétique toute boucle de courant fermée parcourue par un courant d'intensité I . Le dipôle possède un moment dipolaire::

Exemples:



2. Analogie dipôle électrique - dipôle magnétique

	Dipôle électrique	Dipôle magnétique
Moment dipolaire		
Potentiel	$V(M) = \frac{p \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$	n'existe pas
Champ créé par un dipôle	$\vec{E}(M) = \frac{3(\vec{p} \cdot \vec{OM})\vec{OM} - \vec{p}OM^2}{OM^5}$	
Force exercée sur le dipôle	$\vec{F}(A) = (\vec{p} \cdot \text{grad})\vec{E}(A)$	
Moment exercé sur le dipôle	$\vec{\Gamma}(A) = \vec{p} \wedge \vec{E}(A)$	
Energie potentielle	$E_p(A) = -\vec{p} \cdot \vec{E}(A)$	

Remarque: les lignes de champ d'un dipôle et celles d'un aimant sont identiques, donc on attribue aux aimants un moment magnétique \vec{M} (son expression n'est pas $\vec{M} = IS\vec{n}$): les lignes de champ magnétique d'un aimant sont dirigées