

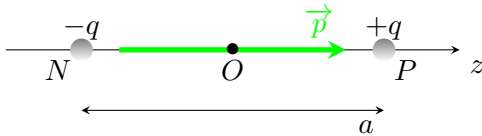
Dipôle électrostatique

Les propriétés du dipôle électrostatique se répartissent en deux catégories :

- étude du champ et du potentiel créés par le dipôle ; on parle dans ce cas de *dipôle actif* ;
- étude des efforts subis par le dipôle soumis au champ électrique créé par une autre distribution de charges ; on parle dans ce cas de *dipôle passif*.

I Définitions

Un **dipôle électrique** (ou électrostatique) est un **doublet électrique** constitué de deux charges ponctuelles opposées ($+q$ en P et $-q$ en N) dont la **dimension** ($a = NP$) est **petite** devant toutes les autres distances que l'on considère (en particulier les distances d'observation).



On appelle **moment dipolaire** du dipôle électrique le vecteur $\vec{p}$ défini par :

$$\vec{p} = q\overrightarrow{NP}$$

Le moment dipolaire se mesure en C.m.

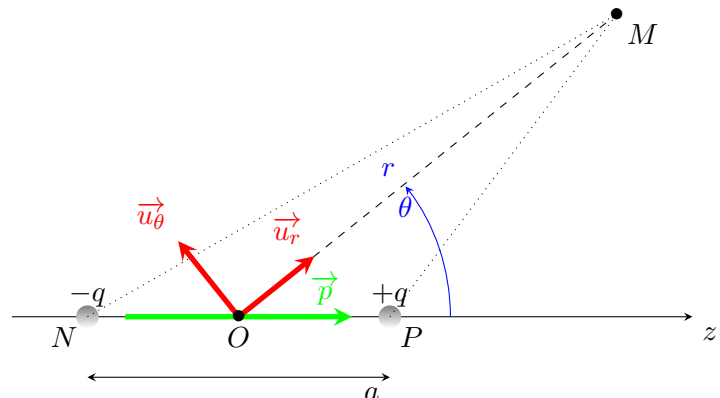
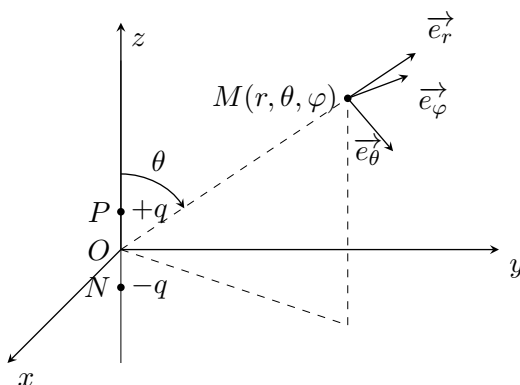
À l'échelle atomique, les charges sont de l'ordre de e et les longueurs de l'ordre de 10^{-10} m ; on utilise en Chimie une unité du système CGS, le debye (symbole D)

$$1 \text{ D} \simeq \frac{1}{3} \cdot 10^{-29} \text{ C.m}$$

Plus généralement le dipôle électrostatique est un modèle simple pour une distribution de charges neutre dont le barycentre des charges négatives N et le barycentre des charges positives P ne sont pas confondus.

II Actions exercées par un dipôle électrique

II.1 Potentiel créé par un dipôle



Approximation dipolaire : $a \ll r$

On pose $a = \|\overrightarrow{NP}\|$.

Le point M est repéré par ses coordonnées sphériques de centre O :

$$\begin{cases} r = \|\overrightarrow{OM}\| \\ \theta = (\overrightarrow{NP}, \overrightarrow{OM}) \end{cases}$$

On note

$$\begin{cases} r_1 = \|\overrightarrow{PM}\| \\ r_2 = \|\overrightarrow{NM}\| \end{cases}$$

Invariance :

Principe de superposition :

On cherche à exprimer r_1 et r_2 en fonction de a , θ et r . Pour cela, on utilise la relation $r_1 = \sqrt{\overrightarrow{PM} \cdot \overrightarrow{PM}}$.
 On a :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{PM} &= \overrightarrow{OM} - \overrightarrow{OP} \\ &= \dots \end{aligned}$$

On en déduit successivement :

$$\begin{aligned} r_1^2 &= \\ &..... \\ &..... \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{et,} \\ \frac{1}{r_1} &= \\ &..... \end{aligned}$$

En se limitant à l'ordre 1 en $\frac{a}{r}$, on obtient :

$$\frac{1}{r_1} = ...$$

Pour obtenir $\frac{1}{r_2}$, on effectue le changement $a \rightarrow -a$; on obtient

$$\frac{1}{r_2} = \dots\dots\dots$$

Le potentiel créé est

$$V(M) = \dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

Expression intrinsèque du potentiel :

Le potentiel électrique créé par le dipôle $\vec{p}$ en M a pour expression :

$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p} \cdot \vec{OM}}{\|\vec{OM}\|^3}$$

Remarque : $\dots\dots\dots$

$$\dots\dots\dots$$

II.2 Champ créé par un dipôle

Invariances : $\dots\dots\dots$

Symétries : $\dots\dots\dots$

$$\dots\dots\dots$$

On a $\dots\dots\dots$

$$E_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = \dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$E_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} = \dots\dots\dots$$

.....

.....

Il vient : $\vec{E}(M) =$

.....

.....

.....

Le champ électrique créé par un dipôle $\vec{p}$ placé en O en un point M tel que $\overrightarrow{OM} = \vec{r}$ a pour expression :

$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{3(\vec{p} \cdot \vec{r})\vec{r}}{r^5} - \frac{\vec{p}}{r^3} \right]$$

II.3 Topographie du champ

Équation des lignes de champ :

.....

.....

.....

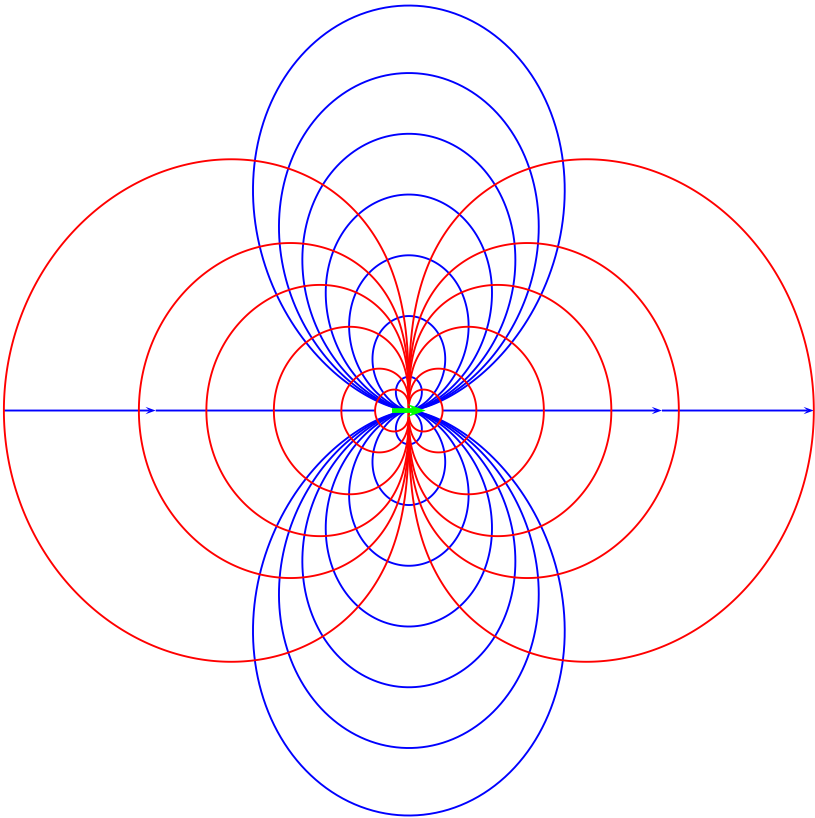
.....

Équation des équipotentiels :

.....

.....

.....



III Actions subies par un dipôle

III.1 Cas d'un champ extérieur uniforme

On considère un dipôle rigide $\overrightarrow{p}$ placé dans un champ exptérieur uniforme $\overrightarrow{E_0}$.

Soit $\overrightarrow{F}$ la résultante de l'action mécanique de ce champ sur le dipôle et $\overrightarrow{\mathcal{M}_A}$ le moment en A des forces exercées sur ce dipôle.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

III.2 Cas d'un champ extérieur non uniforme

a Résultante

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

b Moment

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

A correspond au centre d'un dipôle caractérisé par son moment dipolaire $\vec{p}$. Ce dernier, plongé dans un champ électrique $\vec{E}$ subit une action

- de résultante :

$$\vec{F} = (\vec{p} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{E}(A)$$

- de moment en A :

$$\overrightarrow{\mathcal{M}}_A = \vec{p} \wedge \vec{E}(A)$$

III.3 Énergie potentielle

.....

.....

.....

.....

.....

.....

$$\mathcal{E}_p = -\vec{p} \cdot \vec{E}(A)$$

IV Interactions et chimie

IV.1 Interaction charge-charge

L'interaction la plus intense est l'interaction entre deux distributions monopolaires, dite interaction charge-charge ; si une charge q_1 en A_1 est soumise au champ créé par une charge q_2 en A_2 , l'énergie d'interaction est

$$U = q_1 V_2(A_1) \text{ avec } V_2(A_1) = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r} ; r = \|\overrightarrow{A_1 A_2}\|$$

soit

$$U = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

La décroissance de l'énergie d'interaction est en $\frac{1}{r}$; la force correspondante décroît en $\frac{1}{r^2}$.

C'est cette interaction qui est en jeu entre un électron et un noyau ; dans le cas de l'interaction entre deux ions dans une solution électrolytique, la décroissance peut être plus rapide en raison d'un phénomène que l'on appelle *écrantage*.

Rappel : $\epsilon_{\text{eau}} = 80$.

IV.2 Interaction charge-dipôle

Si une charge q en A_1 est soumise au champ créé par un dipôle $\overrightarrow{p}$ en A_2 , l'énergie d'interaction est

$$U = q V_{\overrightarrow{p}}(A_1) \text{ avec } V_{\overrightarrow{p}}(A_1) = \frac{\overrightarrow{p} \cdot \overrightarrow{A_2 A_1}}{4\pi\epsilon_0 r^3} ; r = \|\overrightarrow{A_1 A_2}\|$$

soit

$$U = \frac{q \overrightarrow{p} \cdot \overrightarrow{A_2 A_1}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

La décroissance de l'énergie d'interaction est en $\frac{1}{r^3}$; la force correspondante décroît en $\frac{1}{r^3}$.

On retrouve la même énergie d'interaction dans le point de vue du dipôle passif : l'énergie d'interaction est

$$U = -\overrightarrow{p} \cdot \overrightarrow{E_1}(A_2) \text{ avec } \overrightarrow{E_1}(A_2) = \frac{q \overrightarrow{A_1 A_2}}{4\pi\epsilon_0 r^3} ; r = \|\overrightarrow{A_1 A_2}\|$$

soit

$$U = \frac{q \overrightarrow{p} \cdot \overrightarrow{A_2 A_1}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

Cette énergie potentielle peut décrire une interaction ion-molécule en l'absence d'écrantage.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

IV.3 Interaction dipôle-dipôle

L'énergie d'interaction est :

$$U = -\vec{p}_2 \cdot \vec{E}_{\vec{p}_1}(A_2) \text{ avec } \vec{E}_{\vec{p}_1}(A_2) = \frac{p_1}{4\pi\epsilon_0 r^3} (2 \cos \theta \vec{e}_r + \sin \theta \vec{e}_\theta) ; r = \|\vec{A_1 A_2}\|$$

soit une énergie d'interaction qui décroît apparemment en $\frac{1}{r^3}$.

On constate expérimentalement que l'énergie d'interaction des molécules est en $\frac{1}{r^6}$. La décroissance en $\frac{1}{r^3}$ correspond à une orientation relative des dipôles bien définie. Si toutes les orientations relatives étaient équiprobables, l'énergie potentielle moyenne d'interaction serait nulle. En pondérant les orientations relatives par un facteur de Boltzmann, les orientations de plus basse énergie étant privilégiées, on montre que l'énergie potentielle d'interaction est en $\frac{1}{r^6}$.

IV.4 Le dipôle en chimie

a Le moment dipolaire permanent

.....

.....

.....

.....

.....

b Le moment dipolaire induit

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....