

## Chapitre 3 : DIPOLE ELECTROSTATIQUE

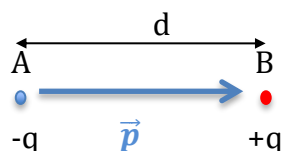
| 5.2.2. Exemples de champs électrostatiques                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dipôle électrostatique. Moment dipolaire.                                                                     | Citer les conditions de l'approximation dipolaire.                                                                                                                                                                                                                        |
| Potentiel et champ créés par un dipôle.                                                                       | Établir l'expression du potentiel électrostatique.<br>Comparer la décroissance du champ et du potentiel avec la distance dans le cas d'une charge ponctuelle et dans le cas d'un dipôle.<br>Tracer l'allure des lignes de champ électrostatique engendrées par un dipôle. |
| Actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique d'origine extérieure : résultante et moment. | Utiliser les expressions fournies de la résultante et du moment des actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique d'origine extérieure.                                                                                                                |
| Énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure.                    | Utiliser l'expression fournie de l'énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure.<br>Prévoir qualitativement l'évolution d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure.                               |
| Interactions ion-molécule et molécule-molécule.                                                               | Expliquer qualitativement la solvatation des ions dans un solvant polaire.                                                                                                                                                                                                |
| Dipôle induit. Polarisabilité.                                                                                | Associer la polarisabilité et le volume de l'atome en ordre de grandeur.                                                                                                                                                                                                  |

### 1. Définitions :

**Définition :** On appelle **dipôle électrostatique** l'ensemble de deux charges ponctuelles opposées  $+q$  et  $-q$  distantes de  $d$ , distance petite par rapport aux distances auxquelles nous étudions les effets.

Plus généralement, une distribution dipolaire est une distribution de charges de charge totale nulle, et dont le barycentre des charges négatives n'est pas confondu avec le barycentre des charges positives.

Exemple : la molécule HCl est un dipôle électrostatique.



**Définition : Le moment dipolaire d'un dipôle électrostatique est :**

$$\vec{p} = q \cdot \overrightarrow{AB} \quad (\text{avec } q > 0)$$

L'unité du moment dipolaire dans le S.I. est le C.m et l'unité usuelle est le Debye D :

$$1 D = \frac{1}{3} \cdot 10^{-29} C \cdot m$$

Un dipôle est dit rigide si  $\|\vec{p}\| = \text{cte}$ .

Ordres de grandeur : H<sub>2</sub>O : p = 1,85 D ; HNO<sub>3</sub> : p = 2,17 D.

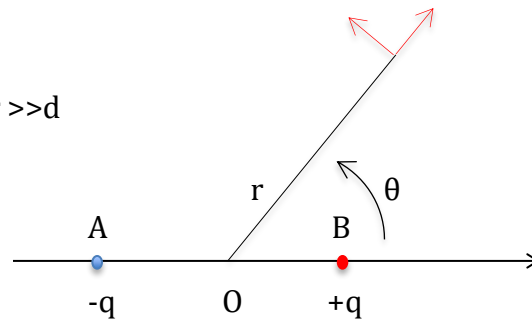
## 2. Potentiel et champ créés à grande distance par un dipôle :

Il pourrait paraître naturel d'utiliser des coordonnées cylindriques, cependant le dipôle va à grande distance apparaître comme ponctuel ; on utilise donc des coordonnées sphériques.

Dans le plan de la feuille, ces coordonnées apparaissent comme des coordonnées polaires.

### 2.1. Potentiel :

$$OM = r \gg d$$



Par superposition, le potentiel créé en M est :

$$V(r, \theta) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{BM} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{AM}$$

$$\overrightarrow{AM} = \overrightarrow{AO} + \overrightarrow{OM} \Rightarrow AM^2 = \frac{d^2}{4} + r^2 + d \cdot r \cdot \cos\theta ;$$

$$\overrightarrow{BM} = -\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OM} \Rightarrow BM^2 = \frac{d^2}{4} + r^2 - d \cdot r \cdot \cos\theta$$

A l'ordre le plus bas en d/r :

$$\frac{1}{AM} = \frac{1}{r} \left( 1 - \frac{d}{2r} \cos\theta \right) ; \frac{1}{BM} = \frac{1}{r} \left( 1 + \frac{d}{2r} \cos\theta \right)$$

d'où :

$$V(r, \theta) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{d \cdot \cos\theta}{r^2}$$

$$\Leftrightarrow V(r, \theta) = \frac{p \cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} \heartsuit$$

On remarque que V varie en  $1/r^2$ , donc plus vite que le potentiel dû à une charge ponctuelle.

## 2.2. Champ crée à grande distance :

On sait que :

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}V$$

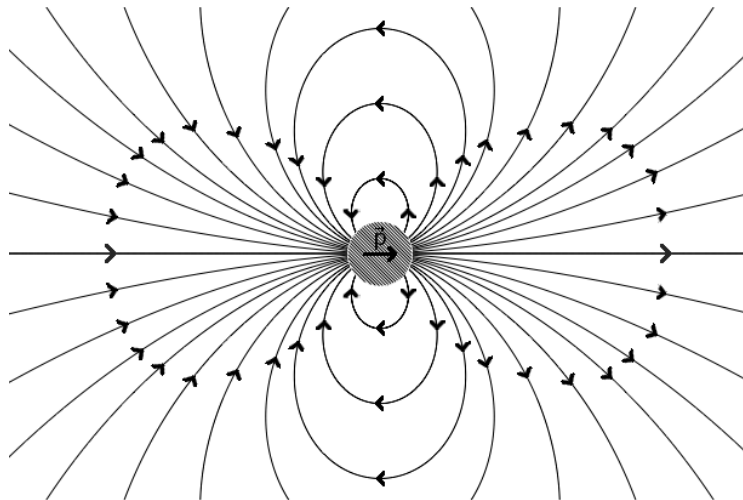
avec en coordonnées polaires :

$$\overrightarrow{\text{grad}}V = \frac{\partial V}{\partial r} \vec{u}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \vec{u}_\theta$$

$$E_r(r, \theta) = \frac{2p \cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^3} ; E_\theta(r, \theta) = \frac{p \sin\theta}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

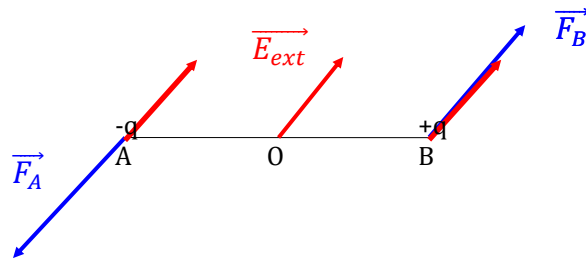
On remarque que le champ varie en  $1/r^3$ , donc plus rapidement que le champ du à une charge ponctuelle.

## 2.3. Lignes de champ et surfaces équipotentielles :



### 3. Action d'un champ électrostatique extérieur sur un dipôle rigide :

#### 3.1. Cas d'un dipôle rigide placé dans un champ électrostatique uniforme :



$$\vec{F}_A = -q\vec{E}_{ext} ; \vec{F}_B = q\vec{E}_{ext}$$

La résultante est :

$$\vec{F} = \vec{F}_A + \vec{F}_B = \vec{0}$$

$\vec{F}_A$  et  $\vec{F}_B$  constituent donc un **couple de forces** dont le moment résultant est :

$$\vec{M} = \vec{OA} \wedge \vec{F}_A + \vec{OB} \wedge \vec{F}_B = \vec{AB} \wedge \vec{F}_B$$

$$\Leftrightarrow \vec{M} = \vec{p} \wedge \vec{E}_{ext}$$

Le dipôle tend à s'orienter dans la direction et le sens de  $\vec{E}_{ext}$ .



équilibre stable



équilibre instable

#### 3. 2. Cas d'un dipôle rigide placé dans un champ électrostatique non uniforme :

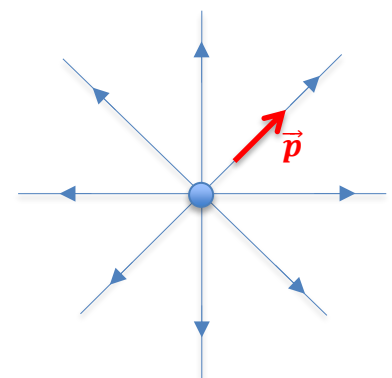
On admet que l'expression de la force est :

$$\vec{F} = (\vec{p} \cdot \text{grad}) \cdot \vec{E}_{ext}$$

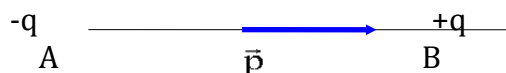
En conclusion, le dipôle est attiré vers les régions de champ fort.

Le moment calculé dans le cas du champ uniforme peut être utilisé en première approximation :

$$\vec{M} = \vec{p} \wedge \vec{E}_{ext}$$



#### 3.3. Energie potentielle électrostatique d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique extérieur :



Le potentiel dont dérive le champ extérieur  $\vec{E}_{ext}$  est  $V_{ext}$  en A et  $V_{ext} + \Delta V_{ext}$  en B, avec  $\Delta V_{ext} \ll V(A)$   
L'énergie potentielle est donc :

$$E_p = -q \cdot V_{ext} + q \cdot (V_{ext} + \Delta V_{ext}) = q \cdot V_{ext}$$

$$\text{Or } \vec{E}_{ext} = -\vec{grad}V_{ext}$$

$$\vec{E}_{ext} \cdot \vec{AB} = -\Delta V_{ext}$$

$$E_p = -q \vec{E}_{ext} \cdot \vec{AB} = -\vec{p} \cdot \vec{E}_{ext}$$

#### 4. Application : interactions ion-molécule et molécule-molécule :

##### 4.1. Moments dipolaires dans la matière :

Les atomes et les molécules possèdent souvent un moment dipolaire.  
Ce moment dipolaire peut être de plusieurs natures :

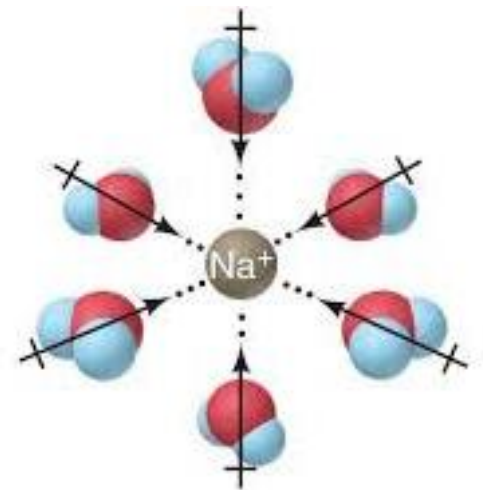
- Moment dipolaire permanent : H<sub>2</sub>O : p = 1,85 D ; NH<sub>3</sub> : p = 1,49 D.
- Moment dipolaire induit ( voir plus loin ) dans un atome ou une molécule ;
- Moment dipolaire instantané de l'atome.

##### 4.2. Interaction ion-molécule : solvation :

On considère en première approximation les ions comme des charges ponctuelles à symétrie sphérique.

Un ion exerce sur un dipôle un moment qui tend à aligner le dipôle avec le champ et une force qui tend à attirer le dipôle.

On explique ainsi la solvation des ions dans les solvants polaires ; cette solvation tend à diminuer le champ créé par l'ion.



##### 6.3. Interaction molécule-molécule :

Les interactions sont purement dipolaires : ce sont des forces dites de Van der Waals.

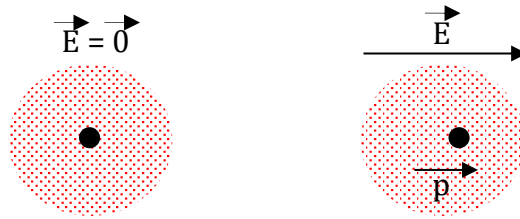
Cette force varie en  $1/r^7$ .

Voir Courty Kierlik, « La force qui colle » Pour la science Mai 2003.



## 5. Le dipôle induit :

Les déplacements des charges liées au noyau sous l'effet d'un champ électrique extérieur, occasionnent des moments dipolaires : on dit que le milieu se polarise.



$$\vec{p} = \alpha \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}$$

avec  $\alpha$  la polarisabilité de la molécule en  $\text{m}^3$

Remarque : Une molécule peut posséder un moment dipolaire permanent et un moment dipolaire induit.

Comment calculer une valeur approchée de la polarisabilité d'un atome ?

Utilisons le modèle simple ( et faux ) de Thomson : la charge positive  $Ze$  de l'atome est uniformément répartie dans une sphère de rayon  $a$ , dans laquelle l'électron est mobile.

Nous avons calculé le champ auquel est soumis l'électron :

$$\vec{E}(M) = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0} \frac{r}{a^3} \vec{u}_r$$

Si nous appliquons un champ extérieur  $\vec{E}_0$ , l'équilibre de l'électron s'écrit :

$$-e\vec{E}(M) - e\vec{E}_0(M) = \vec{0}$$

On en déduit :

$$\vec{r}_{\text{équilibre}} = -\frac{4\pi\epsilon_0 a^3}{Ze} \vec{E}_0$$

et

$$\vec{p} = \frac{4\pi\epsilon_0 a^3}{Z} \vec{E}_0$$

La susceptibilité est donc de l'ordre de :

$$\alpha = \frac{4\pi a^3}{Z}$$

Pour l'atome d'H on obtient :

$$\alpha = 1,8 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$$

La valeur expérimentale est :

$$\alpha = 8,4 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$$

ce qui montre qu'un calcul quantique est indispensable pour obtenir mieux qu'un ordre de grandeur.

Le calcul quantique fournit :

$$\alpha = 7,9 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$$