

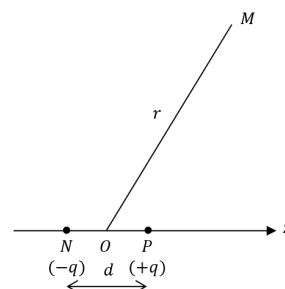
# Chapitre 2 : Dipôle électrostatique

## I. Présentation du dipôle

### 1. Approximation dipolaire

#### Définition :

Un dipôle électrostatique est un ensemble de deux charges opposées  $-q$  et  $q$  assimilées à des charges ponctuelles, dont on étudie les effets à grande distance devant la distance qui les séparent. Nous limiterons les calculs à l'ordre 1 en  $\frac{d}{r}$ .

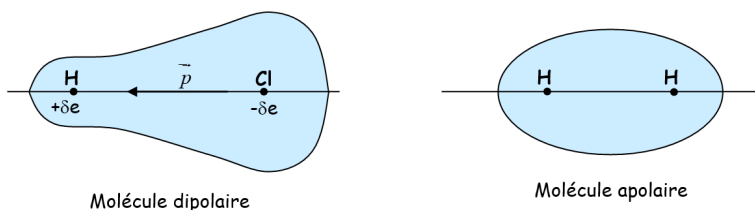


Il s'agit d'un modèle simple. Le plus souvent, un dipôle est une distribution de charge totale nulle. Le point  $N$  désigne le barycentre des charges négatives et  $P$  le barycentre des charges positives.

Il existe des molécules dites dipolaires. Elles présentent une dissymétrie du nuage électronique.

#### Exemple : molécule HCl

Les électrons de la liaison sont attirés par l'atome de chlore plus électronégatif que celui d'hydrogène. La liaison est ainsi polarisée : charge ponctuelle  $q = +\delta e$  sur H et  $-q = -\delta e$  sur Cl.



En chimie, le moment dipolaire est souvent noté  $\vec{\mu}$  et son unité est le Debye (D) :

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

### 2. Moment dipolaire

#### Définition :

Le moment dipolaire de la distribution est :

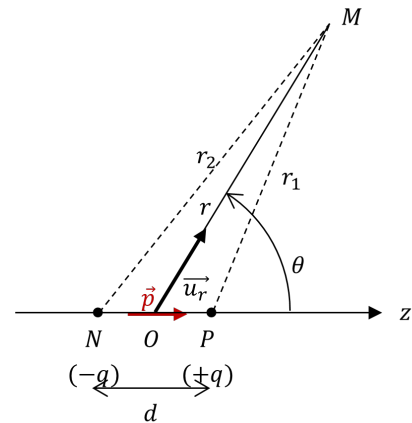
Unité SI de la norme de  $\|\vec{p}\| = qd : \text{C m}$

## II. Potentiel et champ créés par un dipôle

### 1. Potentiel électrostatique

On choisit les coordonnées sphériques d'axe  $Oz$  qui est aussi l'axe du dipôle.

Étude des invariances et symétries :



Pour être dans le cadre de l'approximation dipolaire, nous allons limiter les calculs à l'ordre 1 en  $\frac{d}{r}$ .

**Conclusion :**

Le potentiel en  $M$  créé par le dipôle s'écrit :

**Remarque :**

Le potentiel varie en  $\frac{1}{r^2}$  au lieu de  $\frac{1}{r}$  pour une charge ponctuelle. La décroissance est donc beaucoup plus rapide avec la distance.

**2. Champ électrostatique**

On calcule le champ électrostatique à l'aide de la relation  $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}} V$ .

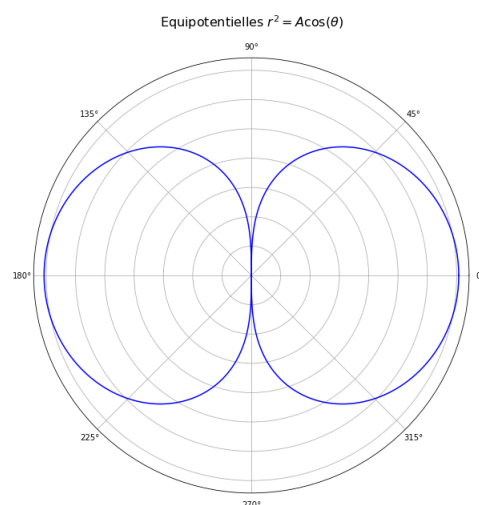
**Conclusion :**

Le champ électrostatique créé par un dipôle s'écrit :

**3. Topographie****Équipotentielles :**

Le potentiel est indépendant de  $\varphi$  donc les équipotentiels sont de symétrie de révolution autour de  $(Oz)$ .

$$V(r, \theta) = V_0$$



**Lignes de champ :**

Les lignes de champ sont orthogonales aux équipotentielles.

Équation des lignes de champ :  $\vec{E}$  colinéaire à  $\frac{d\vec{l}}{dl}$ .

Equipotentiels  $r^2 = A \cos(\theta)$  (bleu) et lignes de champ  $r = K(\sin(\theta))^2$  (rouge)

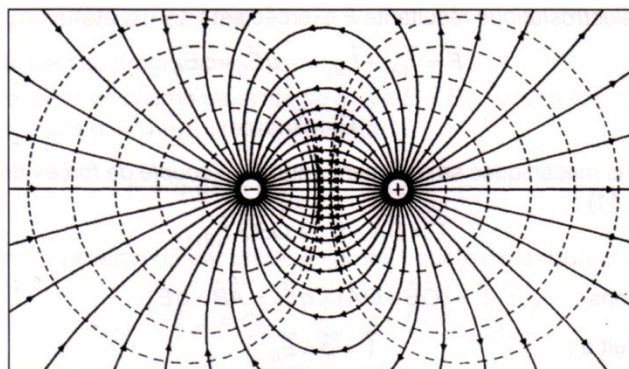
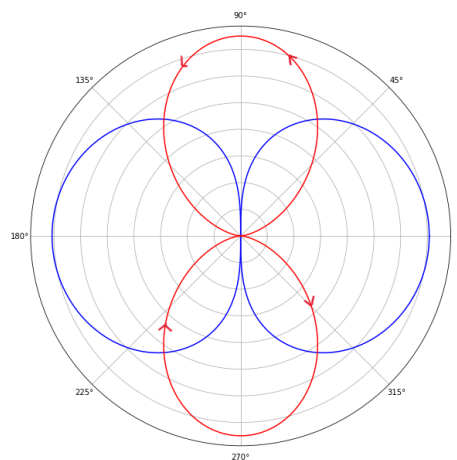


FIGURE 1 – Champ créé par deux charges ponctuelles (+q) et (-q)

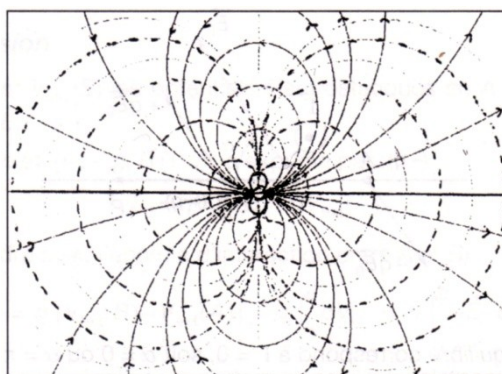


FIGURE 2 – Champ créé par un dipôle

### III. Actions subies par un dipôle dans un champ extérieur

## 1. Champ extérieur uniforme $\vec{E}_0$

### Résultante des forces :

C'est la somme des forces s'exerçant sur les deux charges.

### Moment exercé sur le dipôle :

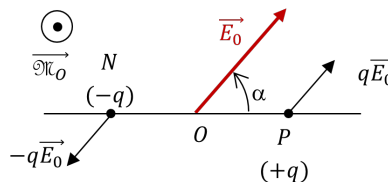


FIGURE 3 – Champ créé par un dipôle

Le moment obtenu est indépendant du point de calcul. Il s'agit donc d'un couple.

**Positions d'équilibre :**  $\vec{\mathcal{M}} = \vec{0}$  soit  $\alpha = 0$  ou  $\alpha = \pi$ .

- $\alpha = 0$  : position d'équilibre stable. Le dipôle écarté de sa position d'équilibre ressent un couple qui le ramène à sa position initiale.
- $\alpha = \pi$  : position d'équilibre instable. Le dipôle écarté de sa position d'équilibre ressent un couple qui l'écarte de sa position initiale.

### Conclusion :

En présence d'un champ uniforme, le dipôle tend à s'aligner dans la direction et dans le sens du champ.

## 2. Champ extérieur $\vec{E}$ quelconque

### Moment exercé sur le dipôle :

On pose  $\vec{E}(P) = \vec{E}(O) + d\vec{E}(P)$  et  $\vec{E}(N) = \vec{E}(O) + d\vec{E}(N)$

**Résultante des forces :**

Coordonnées :

- $P : (dx, dy, dz)$
- $N : (-dx, -dy, -dz)$
- $\overrightarrow{NP} : (2dx, 2dy, 2dz)$
- $\vec{p} : (2qdx, 2qdy, 2qdz)$

**Conclusion :**

Le dipôle est attiré vers les zones de champ fort.

### 3. Énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ extérieur

On somme les énergies potentielles des deux charges.

$$\mathcal{E}_p = qV(P) - qV(N) = q[V(P) - V(N)]$$

On suppose que la dimension du dipôle est faible devant l'échelle caractéristique de variation du champ extérieur.

**Conclusion :**

L'énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ extérieur s'écrit :

**Positions d'équilibre :**

$$\mathcal{E}_p = -pE \cos \alpha$$

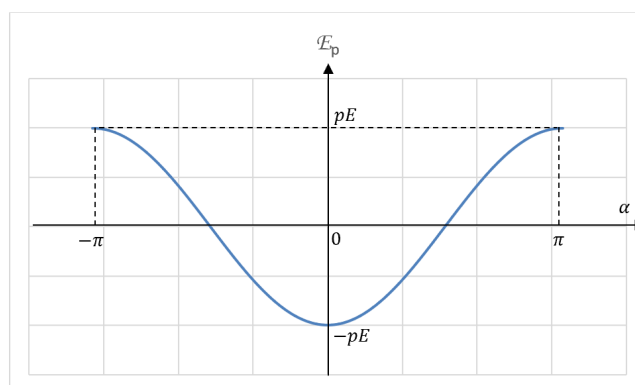
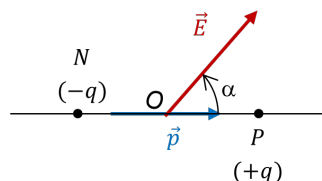


FIGURE 4 – Energie potentielle du dipôle électrostatique

L'énergie potentielle admet un minimum en  $\alpha = 0$ , il s'agit donc d'un équilibre stable. L'énergie potentielle admet un maximum en  $\alpha = \pi$ , il s'agit donc d'un équilibre instable.

**Conclusion :**

Les dipôles auront tendance à s'orienter en direction et en sens avec le champ extérieur.

Une fois orientés, on a  $\alpha = 0$  et  $\mathcal{E}_p = -\|\vec{p}\|\|\vec{E}\|$ . L'énergie potentielle sera minimale lorsque  $\|\vec{E}\|$  sera maximale.

**Conclusion :**

Les dipôles sont attirés dans les zones de champ fort.