

Chapitre 2 : Dipôle électrostatique

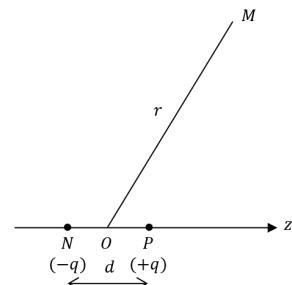
I. Présentation du dipôle

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 $\frac{d}{r}$.

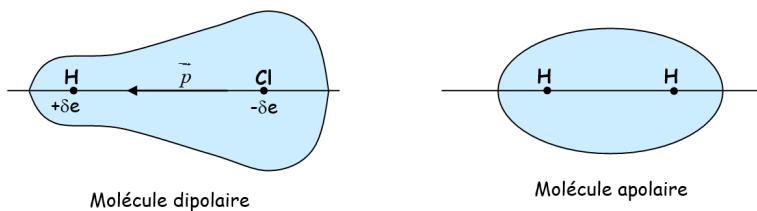


Il s'agit d'un modèle simple. Le plus souvent, un dipôle est une distribution de charge totale nulle. Le point N désigne le barycentre des charges négatives et P le barycentre des charges positives.

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 :

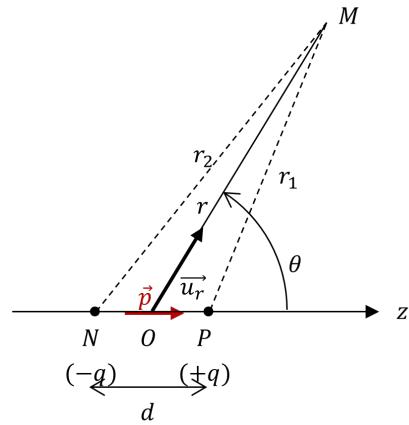
Unité SI de la norme de $\|\vec{p}\| = qd$: C m

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

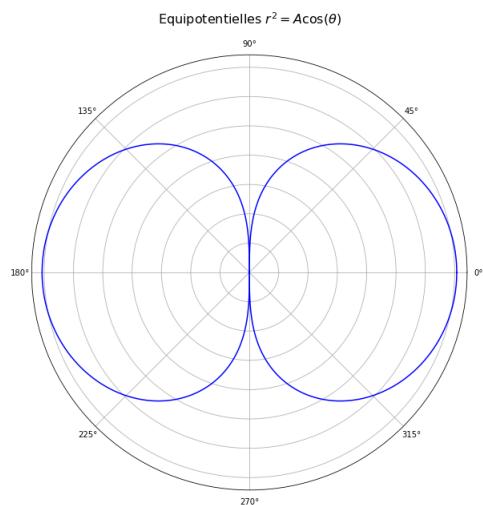
Conclusion :

Le champ électrostatique créé par un dipôle s'écrit :

3. Topographie**Équipotentielles :**

Le potentiel est indépendant de φ donc les équipotentielles sont de symétrie de révolution autour de (Oz) .

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



Lignes de champ :

Les lignes de champ sont orthogonales aux équipoientielles.

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

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

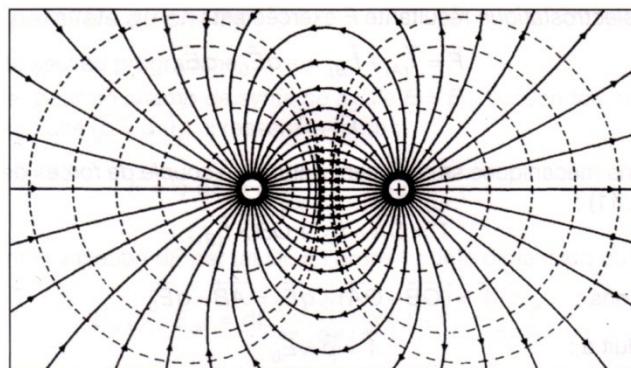
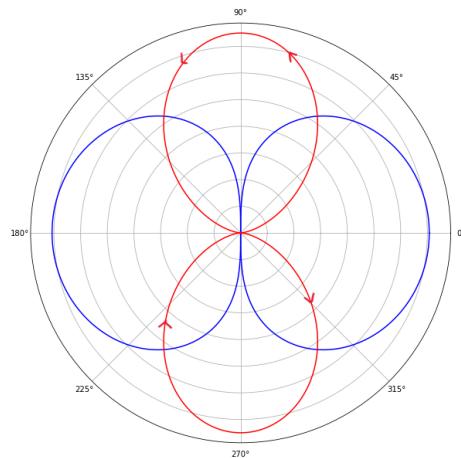


FIGURE 1 – Champ créé par deux charges ponctuelles ($+q$) et ($-q$)

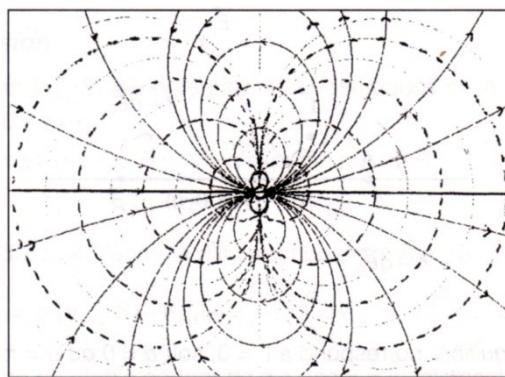


FIGURE 2 – Champ créé par un dipôle

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 :

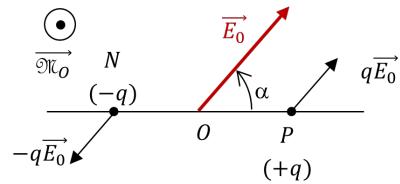


FIGURE 3 – Champ créé par un dipôle

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

Positions d'équilibre : $\vec{M} = \vec{0}$ 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 :

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

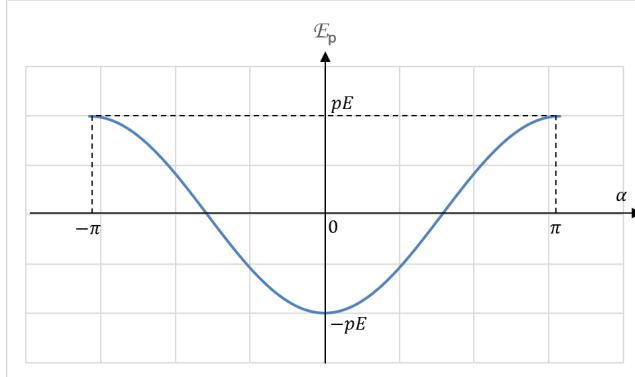
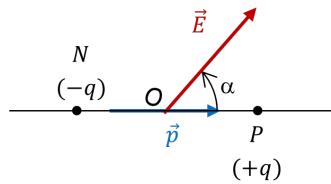


FIGURE 4 – Energie potentielle du dipôle électrostatique

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.