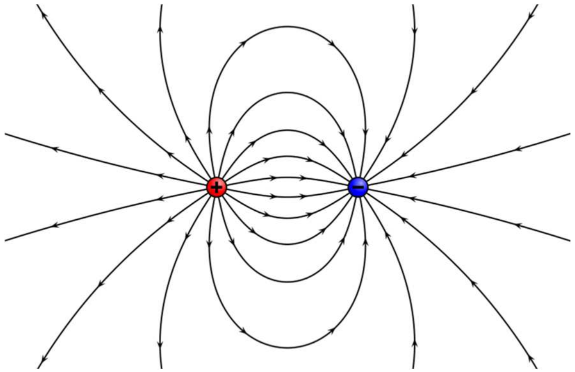
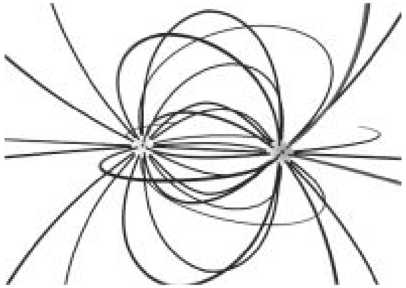
Du doublet au dipôle

Cours

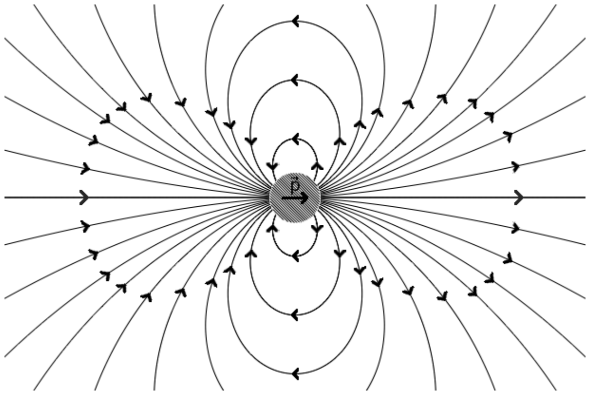
Doublet – Dipôle électrostatique (atome polarisé, molécule…)

Doublet de charges - Allure des lignes de champ en tout point de l'espace (*calcul exact*) :





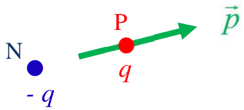
Dipôle - Allure du champ **loin** des deux charges (*calcul approché hors zone centrale grisée*) :



Définition *provisoire* (cf. doc. « Dipôles » pour la définition définitive)

Soit une distribution de n charges q_i de charge totale nulle ($\sum_{i=1}^{n} q_i = 0$) mais telle que le barycentre N des charges négatives et le barycentre P des charges positives soient distincts.
On note q, la somme des charges positives.
Le moment dipolaire électrique de la distribution est défini par :

$$\vec{p} = q\overrightarrow{NP} \quad \text{en Cm.}$$



Unité adaptée à la chimie : Debye $\quad 1\ D = \frac{1}{3}10^{-29}\ Cm$

Deux aspects essentiels, développés dans la suite, doivent être mémorisés :

- ✓ d'une part, un dipôle ***crée*** un champ (cartes ci-contre) ;
- ✓ d'autre part, un dipôle placé dans un <u>champ extérieur</u> ***subit*** des actions mécaniques (force résultante et moment résultant) qui peuvent le ***déplacer*** et/ou le faire ***pivoter***.

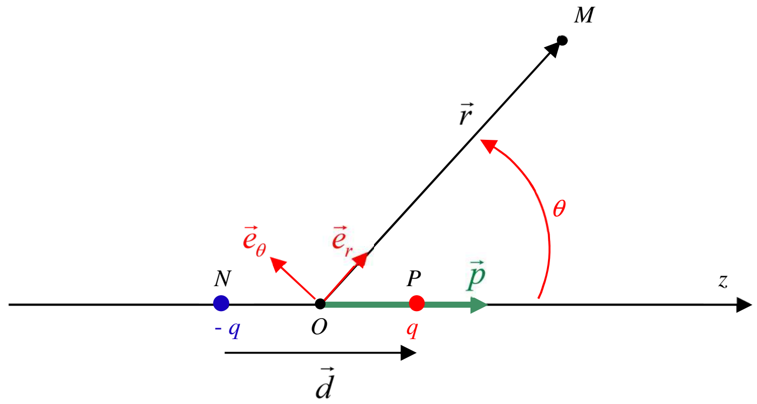
Potentiel et champ créés par un dipôle (Question de cours y compris le schéma)

1. Prérequis - Rappeler les expressions du champ et du potentiel créés en M par une charge ponctuelle q placée en P à la distance r de M.

Un dipôle constitué de deux charges opposées q et $-q$, séparées d'une distance d est observé à grande distance (***$r >> d$: approximation dipolaire***, cf. schéma ci-dessous).

<u>Intérêt scientifique</u> : de très nombreux systèmes (molécules, atomes soumis à un champ électrique…) peuvent être *modélisés*, en première approximation, par un tel dipôle.

L'axe du dipôle étant un axe de symétrie (cf. deux premières figures), on se place dans l'un des plans de symétrie passant par cet axe et on utilise les coordonnées polaires d'origine O, milieu du segment NP (cf. schéma ci-dessous)
Rq : le choix de l'axe Oz et de l'angle θ correspond aux *coordonnées sphériques dans l'espace*.

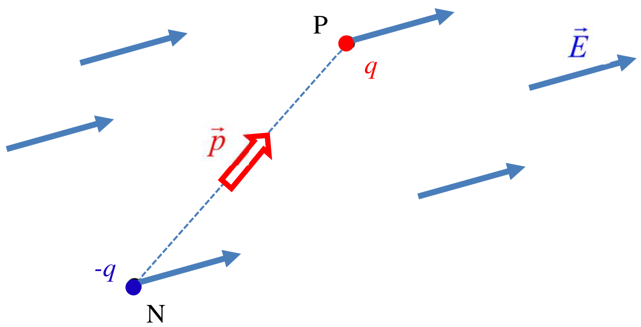


2. Exprimer le potentiel créé en M par les deux charges en fonction des distances PM et NM.
3. Exprimer la distance NM en calculant la norme du vecteur $\overrightarrow{NM} = \overrightarrow{NO} + \overrightarrow{OM}$. L'exprimer en fonction de r, d et θ. Simplifier NM^{-1} sachant que $d \ll r$ (utiliser un développement limité en d/r sachant que $(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$ valable lorsque $x \ll 1$).
4. Faire de même pour la distance PM^{-1} .
5. En déduire que $V(M) = \dfrac{p\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ où $p = qd$ (moment dipolaire).
6. En déduire l'expression du champ électrique créé par le dipôle en M sachant que le gradient dans le repère $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$ s'écrit : $\overrightarrow{grad}\, V = \left| \begin{array}{l} \dfrac{\partial V}{\partial r} \\ \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial V}{\partial \theta} \end{array} \right.$.

Actions mécaniques subies par un dipôle RIGIDE (Question de cours y compris les schémas)

On place le dipôle précédent dans un ***champ extérieur*** noté $\vec{E}$ (il ne s'agit pas du champ créé par le dipôle qui ne joue aucun rôle ici : le dipôle ne subit pas le champ qu'il crée).
Le terme dipôle rigide signifie que le dipôle est indéformable (i.e. son moment dipolaire ne varie pas en norme).

1. *1er cas : champ extérieur $\vec{E}$ uniforme*



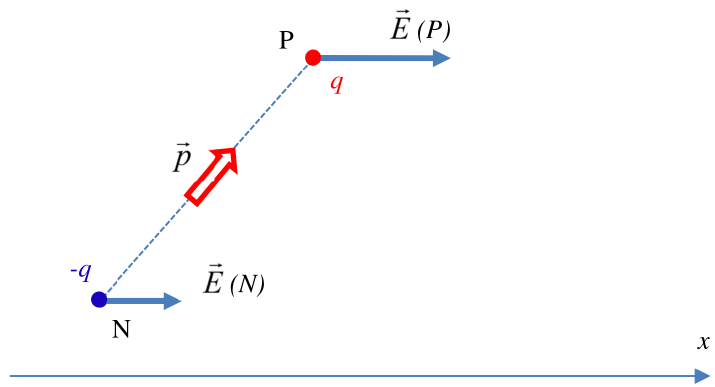
1.1. Représenter les forces en N et P sur le schéma ci-dessus puis les exprimer en fonction de q et $\vec{E}$.
1.2. En déduire la résultante $\vec{R}_e$ des forces sur le dipôle.
1.3. Exprimer vectoriellement le moment résultant en O (centre du dipôle) des forces précédentes ; exprimer ce moment en fonction de $\vec{p}$ et $\vec{E}$ et le représenter sur le schéma ci-dessus. Ce moment fait-il intervenir le point O ? Comment appelle-t-on un tel moment ?
1.4. En déduire la position du dipôle lorsqu'il est à l'équilibre (cet équilibre est effectivement atteint car un dipôle est également soumis à des forces de frottement).
1.5. Que peut-on dire de l'énergie potentielle du dipôle lorsqu'il est à l'équilibre (en admettant qu'une telle énergie potentielle existe) ?
1.6. En déduire la formule correcte de l'énergie potentielle (formule admise) parmi les expressions suivantes : $E_P = \vec{p}.\vec{E}(O)$ ou bien $E_P = -\vec{p}.\vec{E}(O)$?

Exprimer cette énergie potentielle en fonction de l'angle $\alpha = \widehat{\left(\vec{p},\vec{E}(O)\right)}$.

1.7. A l'aide de deux schémas, dans le cas $\alpha \approx 0$ et dans le cas $\alpha \approx \pi$, préciser laquelle des deux configurations correspond à un équilibre stable (représenter les forces et le moment en O pour conclure).

2. *2nd cas : champ extérieur $\vec{E}$ non uniforme*

Pour fixer les idées, on considère un champ $\vec{E}(M) = E_x(x)\vec{e}_x$.



2.1. Que peut-on dire de la résultante des forces ?
2.2. Quels seront les effets des actions mécaniques (force résultante et moment résultant) sur le dipôle ?
2.3. Justifier la phrase suivante : « le dipôle est attiré vers les régions de champ fort ».

Rappel - Problème à un degré de liberté (position *x* ou angle *α*)

Etat stable à la position x_1 : $\left(\dfrac{dE_p}{dx}\right)_{x_1} = 0$ et $\left(\dfrac{d^2E_p}{dx^2}\right)_{x_1} > 0$