Cours du 16 mars :

- Symétrie et antisymétrie des distributions de charges → Direction du champs électrostatique qui en découle
- Potentiel électrostatique d’une charge ponctuelle.
- Relation entre champ et potentiel électrostatiques (démonstration et discussion).
- Potentiel électrostatique d’une distribution discrète de charges. Principe de superposition.
- Energie potentielle électrostatique.
- Energie potentielle d’interaction électrostatique entre deux charges ponctuelles.
- Surfaces équipotentielles et lignes de champ.

A retenir

L'expression de la force d'interaction coulombienne entre deux charges électriques q_A et q_B situées aux points A et B distants de r, est donnée par.

$$\boxed{\overrightarrow{F_{A/B}} = \overrightarrow{F_A(B)} = k\,\frac{q_A\,q_B}{\|\overrightarrow{AB}\|^2}\,\overrightarrow{u_{AB}}}$$

$$\overrightarrow{u_{AB}} = \frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|}$$

$$\boxed{\overrightarrow{F_{A/B}} = kq_A\,q_B\,\frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|^3}}$$

$$k = \frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0} = 9.10^9\ SI$$

Le champ électrique créé en tout point M par une charge placée en O est donné par:

$$\overrightarrow{E(M)} = \frac{kq}{||OM||^2}\overrightarrow{u_{OM}} = kq\,\frac{\overrightarrow{OM}}{||OM||^3}$$

$$\overrightarrow{u_r} = \frac{\overrightarrow{OM}}{\|\overrightarrow{OM}\|}$$

$$\boxed{\overrightarrow{E(M)} = \frac{kq}{r^2}\overrightarrow{u_r}}$$

Le potentiel électrique créé en tout point M par une charge placée en O est donné par:

$$\boxed{V(M) = \frac{k\,q}{\|\overrightarrow{OM}\|} = \frac{k\,q}{r}} \Rightarrow V = \|\vec{E}\|\,r$$

$$\boxed{\vec{E} = -\vec{\nabla}\,V}$$

L’expression de la force électrostatique qui s’exerce sur une charge q située en un point M dans une région où règne un champ $\vec{\mathrm{E}}$

$$\boxed{\vec{\mathrm{F}} = q\vec{\mathrm{E}}\,(M)}$$

L’expression de l’énergie potentielle électrostatique d’une charge q située dans une région où règne un potentiel V

$$\boxed{\mathcal{E}_p = q\,V(M)}$$

L’expression de l’énergie potentielle d’interaction électrostatique entre deux charges q_1 et q_2 situées respectivement aux points M_1 et M_2

$$\boxed{\mathcal{E}_{P12} = k\frac{q_1 q_2}{M_1 M_2}}$$

$$\begin{cases} \varepsilon_P > 0 \rightarrow \textit{interaction répulsive} \\ \varepsilon_p < 0 \rightarrow \textit{interaction attractive} \\ \varepsilon_P = 0 \rightarrow \textit{pas d'interaction} \end{cases}$$

Unités à retenir

Une charge électrique → **C**

La force de Coulomb → **N**

Le champ électrique → V/m = **V.m^{-1}** ou N/C = **N.C^{-1}**

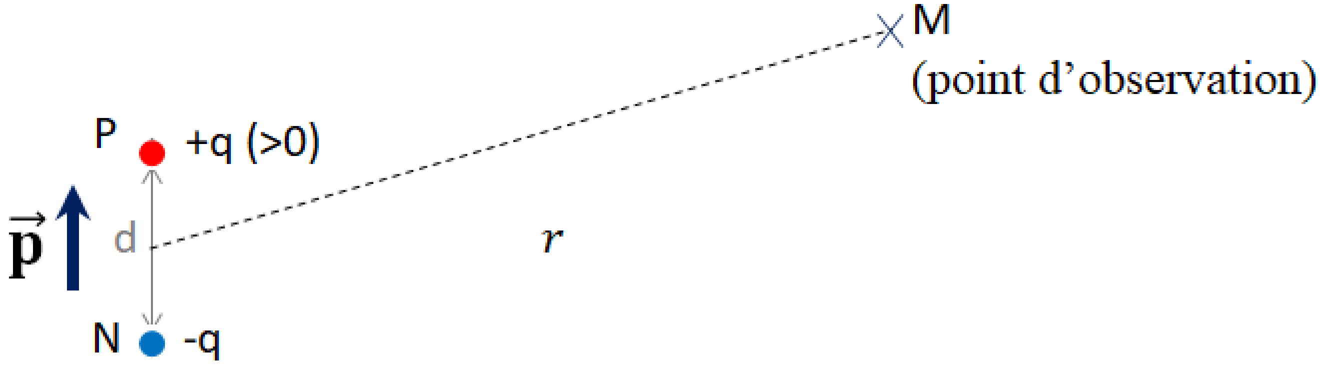
Le potentiel électrique → **V**

L'énergie électrostatique → **J** ou **eV** avec 1eV = 1.6 10^{-19} J

Dipôle électrostatique

1. Définitions

« *dipôle électrostatique* » = deux charges opposées (+q, -q) distantes de $d \ll r$.



La notion de dipôle électrique, principalement utilisée en électromagnétisme est également très utilisée en chimie où certaines liaisons moléculaires peuvent être modélisées par un dipôle.

$\vec{\mathbf{p}}$ est le « *moment dipolaire électrique* » défini par:

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

unité SI : C.m

unité usuelle : Debye (D) $\boxed{1\mathrm{D} = 3{,}336.\,10^{-30}\mathrm{C.m}}$

2. Exemples de dipôle électrostatique

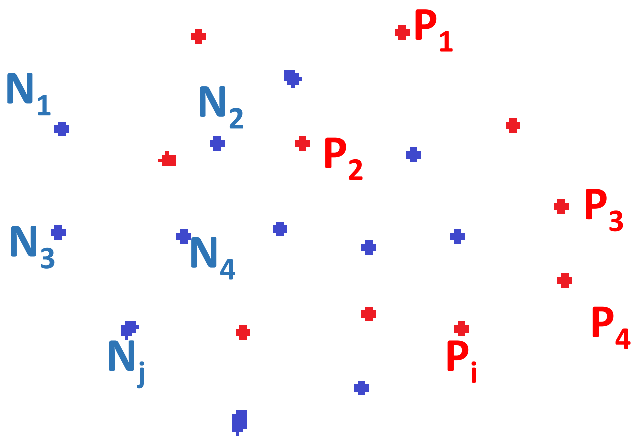
- Toute molécule telle que $\boldsymbol{G_P} \neq \boldsymbol{G_N}$

barycentre charges + barycentre charges -

est modélisée par un dipôle électrique de moment : $\boxed{\vec{p} = q\,\overrightarrow{G_N G_P}}$

Avec $$\sum q_p = -\sum q_n$$

- **Rappels sur les barycentres**



q_i charges > 0 placées aux points P_i

q_j charges < 0 placées aux points N_j

Barycentre **Gp** défini par:

$$\boxed{\sum_i q_i\,\overrightarrow{G_P P_i} = \vec{0}}$$

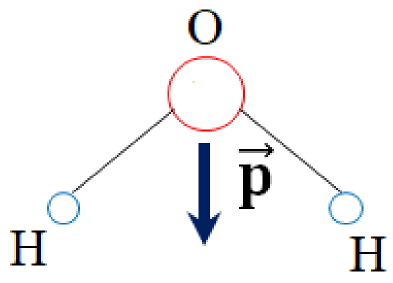
Barycentre $\mathbf{G_N}$ défini par:

$$\boxed{\sum_j q_j\,\overrightarrow{G_N N_j} = \vec{0}}$$

Molécules polaires et apolaires

une molécule est dite « polaire » si elle présente un dipôle « permanent » , même en absence de champ extérieur appliqué.

Ex:

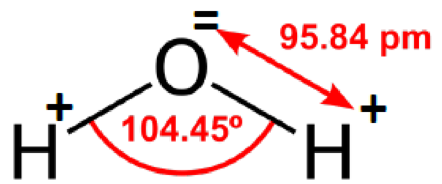


Le barycentre des charges > 0 (Gp) est différent du barycentre des charges < 0 (G_N)

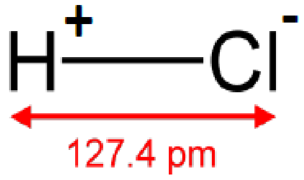
En conséquence:

- Si G_p et G_N d'une molécule sont confondus, on dit que la molécule est « apolaire ».
- Une molécule apolaire peut être polarisée sous l'effet d'un champ électrique extérieur, on parle de polarisation induite.

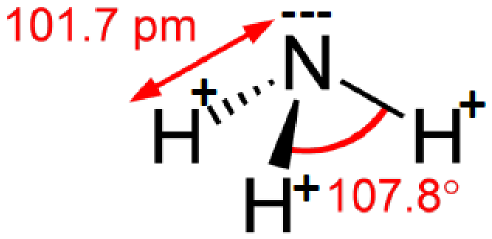
Exemples de molécules polaires et apolaires



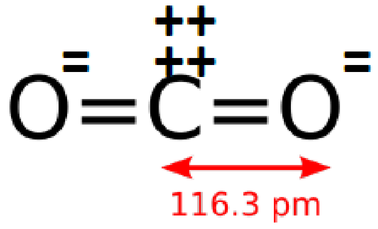
$\|\vec{p}\| = 1{,}85\ D$



$\|\vec{p}\| = 1{,}08\ D$

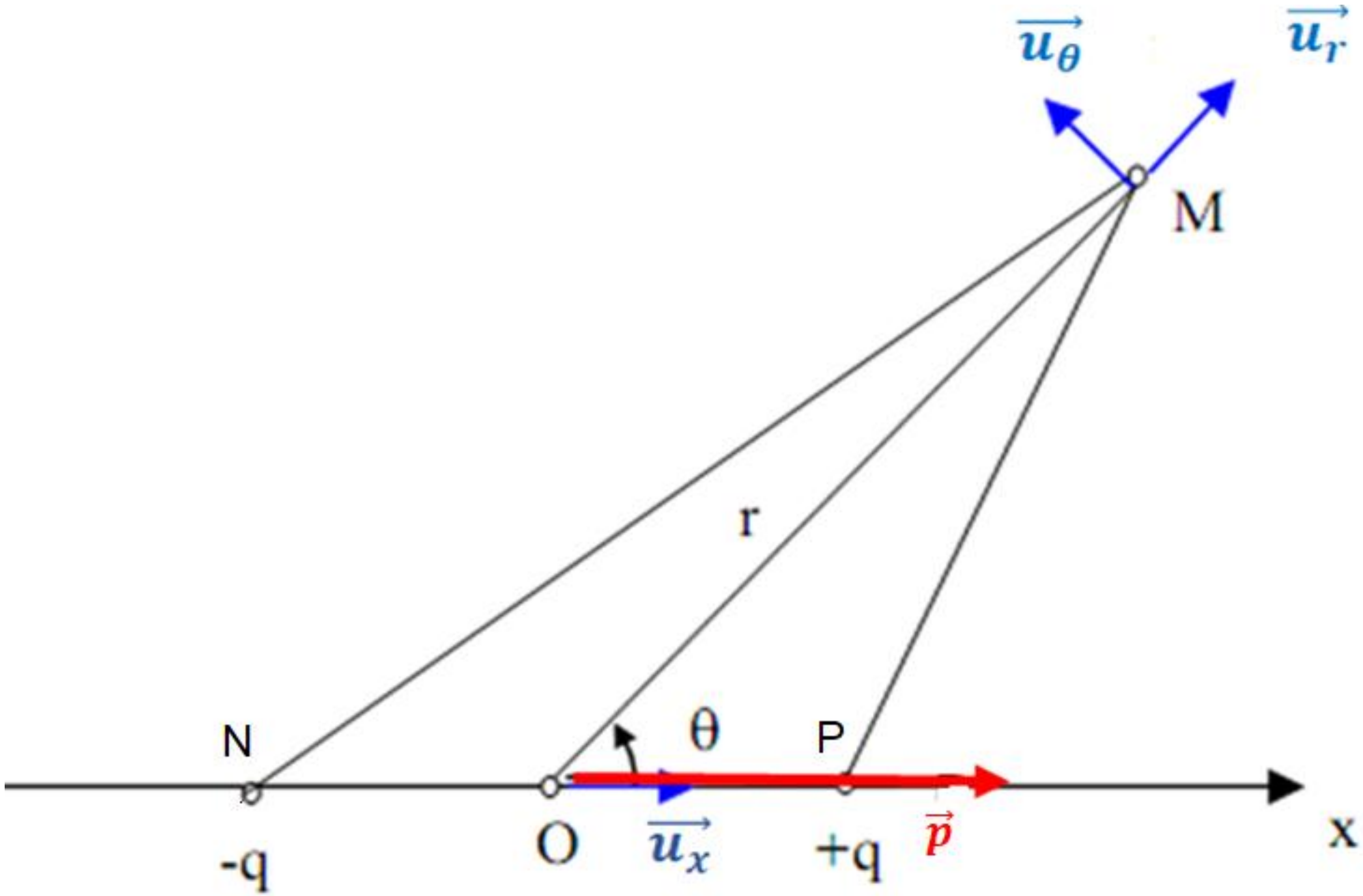


$\|\vec{p}\| = 1{,}43\ D$



$\|\vec{p}\| = 0\ D$

3- Potentiel et champ électriques dipolaires



- ✓ Principe de superposition
- ✓ Approximation dipolaire ($r \gg d$); $d = \|\overrightarrow{NP}\|$

Suivre les calculs au tableau !

$$\boxed{V(r,\theta) = \mathrm{k}\frac{p\cos\theta}{r^2} = \mathrm{k}\frac{\vec{p}\cdot\vec{u}_r}{r^2}}$$

Le potentiel V d'un dipôle suit une loi en $\frac{1}{r^2}$.

Pour une charge ponctuelle V suit une loi en $\frac{1}{r}$

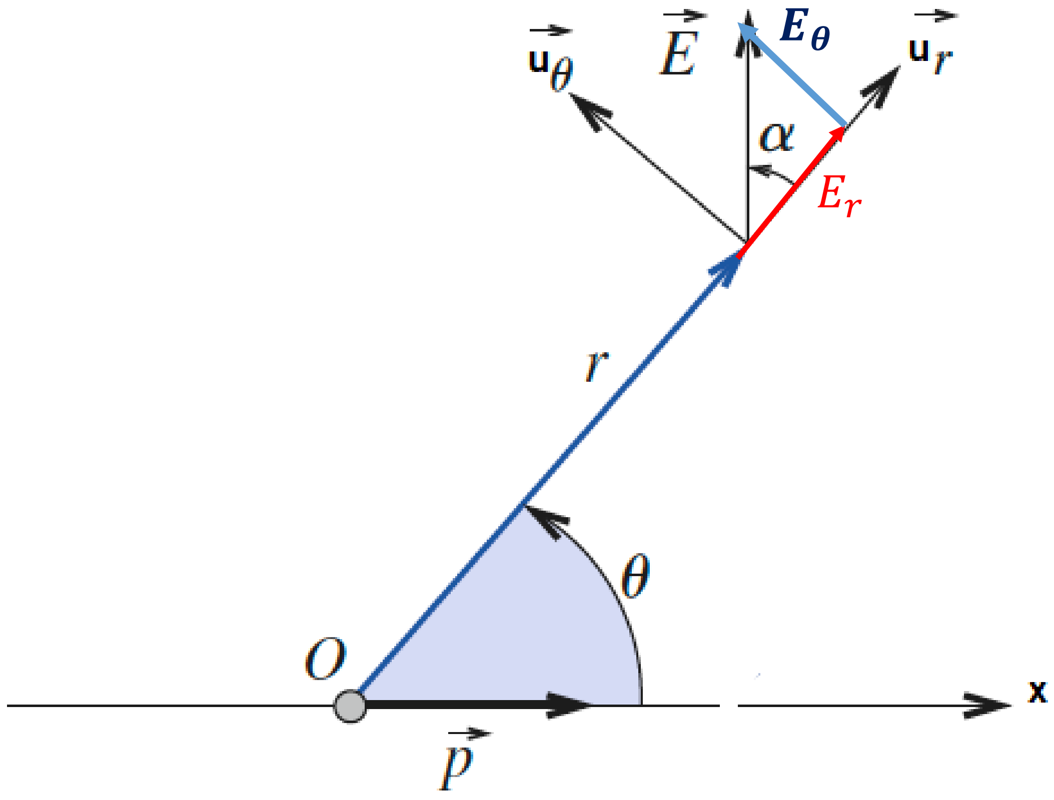
Puis on utilise $\vec{E} = -\vec{\nabla}\,V$ pour déterminer les composantes du champ électrique.

$$\boxed{\vec{E}(r,\theta) = \mathrm{k}\frac{2p\cos\theta}{r^3}\vec{u}_r + \mathrm{k}\frac{p\sin\theta}{r^3}\vec{u}_\theta}$$

Le champ électrique d'un dipôle suit une loi en $\frac{1}{r^3}$.

Pour une charge ponctuelle V suit une loi en $\frac{1}{r^2}$

$$\boxed{\vec{E}(r,\theta) = \mathrm{k}\frac{2p\cos\theta}{r^3}\vec{u}_r + \mathrm{k}\frac{p\sin\theta}{r^3}\vec{u}_\theta}$$



N.B:

$$\tan\alpha = \frac{E_\theta}{E_r}$$

$$\tan\alpha = \frac{\dfrac{k\,p\sin\theta}{r^3}}{\dfrac{2\,k\,p\cos\theta}{r^3}}$$

$$\tan\alpha = \frac{\sin\theta}{2\cos\theta} = \frac{1}{2}\tan\theta$$

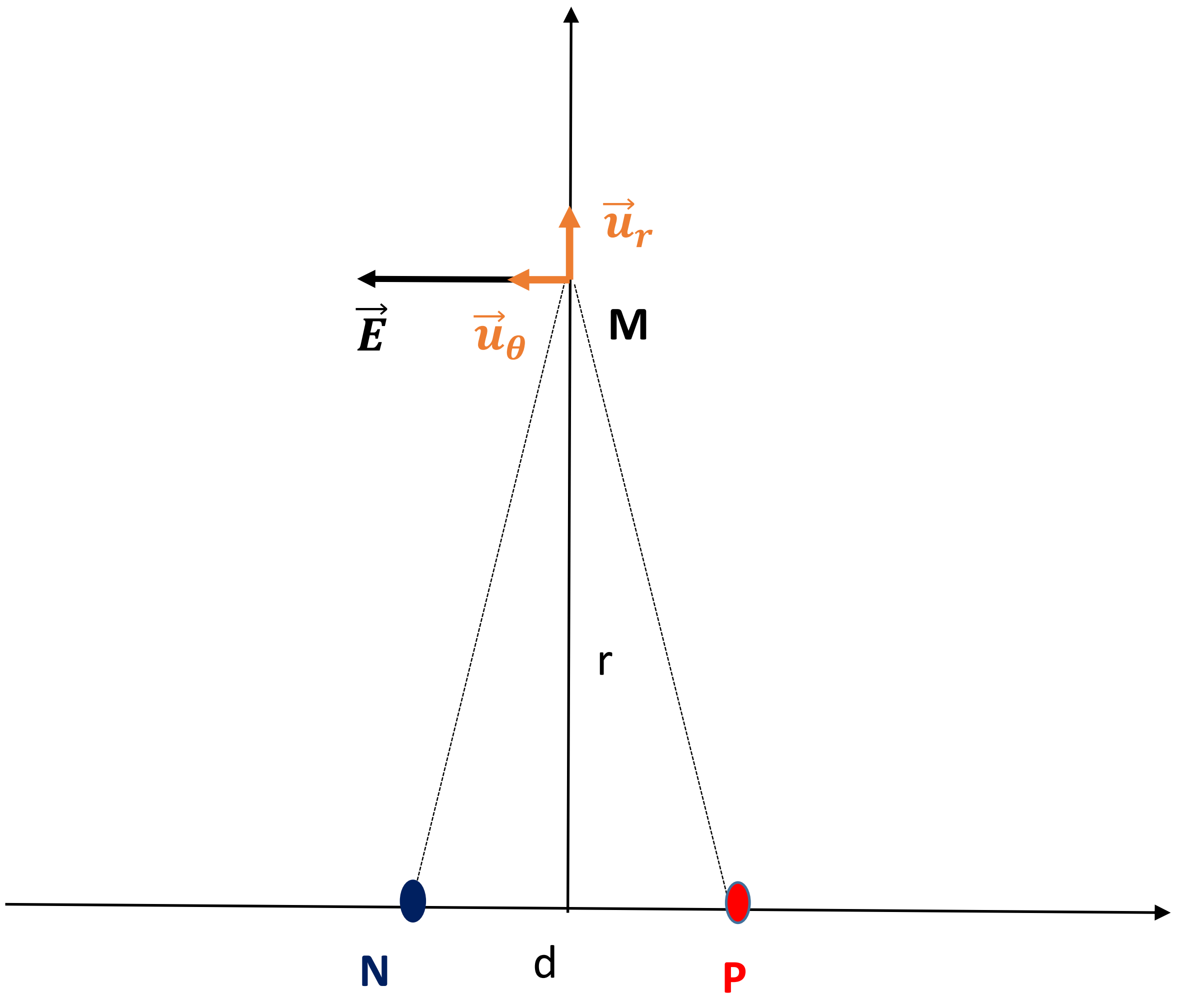
cas particulier : si M sur la médiatrice de [NP] $\Rightarrow$ $\theta = 90°$

$$E_r = k\frac{2p\cos\theta}{r^3} = 0$$

$$E_\theta = k\frac{p\sin\theta}{r^3} = k\frac{p}{r^3}$$

$$\vec{E}(r,\theta) = k\frac{p}{r^3}\vec{u}_\theta$$

$$\boxed{\|\vec{E}\| = k\frac{\|\vec{p}\|}{r^3}}$$



4- Surfaces équipotentielles et lignes de champ

$$V = \frac{kp\cos\theta}{r^2} = V_0$$

$V_0 > 0 \quad pour \quad -\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$

$V_0 = 0 \quad pour \;\; \theta = \frac{\pi}{2} \; et \; \theta = \frac{3\pi}{2}$

$V_0 < 0 \quad pour \;\; \frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\,\pi}{2}$

Lignes de champ définies par

$\overrightarrow{dl} \wedge \vec{E} = \vec{0}$