Cette série de travaux dirigés a pour objet de discuter la notion de polarité des molécules. les constantes utiles pour l'ensemble des séries de TD sont dans l'annexe.

I. Dipôle électrostatique

(a) Donner la définition d'un dipôle électrostatique, du moment dipolaire, noté $\overrightarrow{p}$, d'un tel dipôle, et préciser ce qu'est l'approximation dipolaire.

(b) pourquoi certaines molécules sont polaires et d'autres apolaires ?

(c) La valeur du module du moment dipolaire s'exprime en C.m dans le système d'unités international. Cependant on lui préfère le Debye (D) avec 1D$= 3,34\,10^{-30}$C.m.
Justifier la pertinence de l'unité Debye compte tenu des ordres de grandeurs des charges et des longueurs de liaison. Donner un ordre de grandeur du moment dipolaire des molécules polaires.

(d) Parmi les molécules suivantes : eau H_2O, ammoniaque NH_3, dioxyde de carbone CO_2 et dichlore $C\ell_2$, lesquelles sont polaires et lesquelles sont apolaires ? justifier votre choix.

II. Moment dipolaire de la molécule d'eau

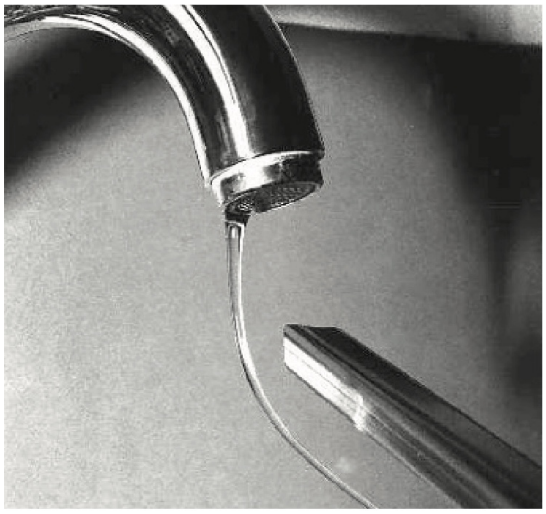
De par l'électronégativité des atomes constituants la molécule d'eau, on peut modéliser celle-ci par un atome d'oxygène portant la charge -2δ relié à deux atomes d'hydrogène portant chacun la charge $+\delta$.
L'angle entre les deux liaisons O-H est noté α, tandis que la distance entre un atome d'oxygène et un atome d'hydrogène est notée d, δ vaut 33% de la charge élémentaire.

(a) Faire une représentation schématique de la molécule d'eau.

(b) Déterminer l'expression vectorielle du moment dipolaire de la molécule d'eau et calculer sa valeur, en C.m et en Debye. On indique que d=0.952Å et $\alpha = 104°45'$.

(c) Pourquoi l'eau et l'huile ne sont pas missibles ?

(d) Un morceau de matière plastique, frotté sur un chiffon sec, est approché d'un filet d'eau coulant d'un robinet. Le résultat de cette expérience est représenteé sur l'image ci-contre. Comment interpréter ce phénomène ? Quand on approche une tige chargée d'un filet de cyclohexane, il n'y a pas de déviation. Proposer une explication.

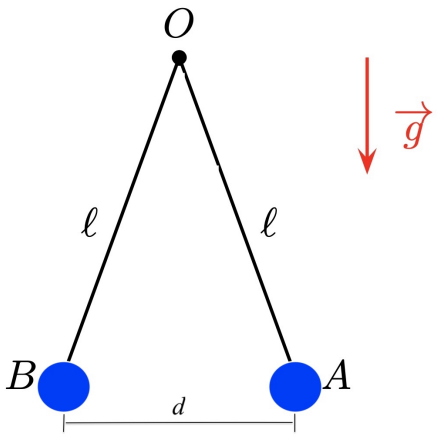


Cette série de travaux dirigés a pour objet de discuter de la loi de Coulomb et d'illustrer le concept de champ électrostatique.

I. Electroscope

Un électroscope est constitué de deux petites sphères (A et B) conductrices identiques de même masse m, suspendues à deux fils isolants de même longueur ℓ. On considère les sphères comme ponctuelles.

Au repos, les sphères n'étant pas chargées, les fils sont tous les deux verticaux et les deux sphères se touchent. Une charge totale Q est transmise par contact aux sphères. A l'équilibre chacune des sphères s'écarte d'une distance d comme indiqué sur la figure ci-contre.



(a) Expliquer les raisons de la répulsion des deux sphères.

(b) Etablir la relation entre la charge Q et les paramètres de l'expérience. Sachant que la masse m=1mg et que la longeur des fils est de 5cm, donner la valeur numérique de Q pour une distance d mesurée de 2cm.

(c) Quel est numériquement le rapport $\mathcal{R}$ du poids à la force coulombienne ? Est-ce que $\mathcal{R}$ est cohérent avec le fait que l'interaction coulombienne est 10^{40} plus intense que l'interaction gravitationnelle ? Donner une explication à cette observation.

II. Carte de champ

Rappel Considérons une charge électrique q placée en un point O dans le vide. Un point quelconque M de l'espace est repéré par $\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{r}$. Le champ électrostatique $\overrightarrow{E}_M$ et le potentiel V_M, engendrés en M par cette charge q s'expriment comme

$$\overrightarrow{E}_M = K\frac{q}{r^2}\frac{\overrightarrow{r}}{r} \quad \text{et} \quad V_M = K\frac{q}{r}$$

Une ligne de champ électrostatique est une courbe orientée de l'espace qui est tangente en tout point au champ électrostatique. Dans le cas de la charge ponctuelle q en O, les lignes de champ sont radiales et partent de O. Les courbes équipotentielles sont les lieux géomètriques où le potentiel électrostatique ne change pas de valeur. Dans le cas de la charge ponctuelle q en O, ce sont des cercles centrés sur O.

Le schéma de la figure 1 représente les lignes du champ électrostatique créé par trois charges.

(a) Où sont placées les charges ?

(b) Quelle est la nature de chacune des charges ?

(c) Représenter quelques courbes équipotentielles.

(d) La norme du champ électrostatique en A est de 100 $\mathrm{V\,m^{-1}}$. Calculer une valeur approchée du champ électrostatique en B, justifier votre réponse.

(e) Que peut-on dire du champ au voisinage de point C ?

(f) Que peut-on dire du champ électrostatique à proximité des charges ?

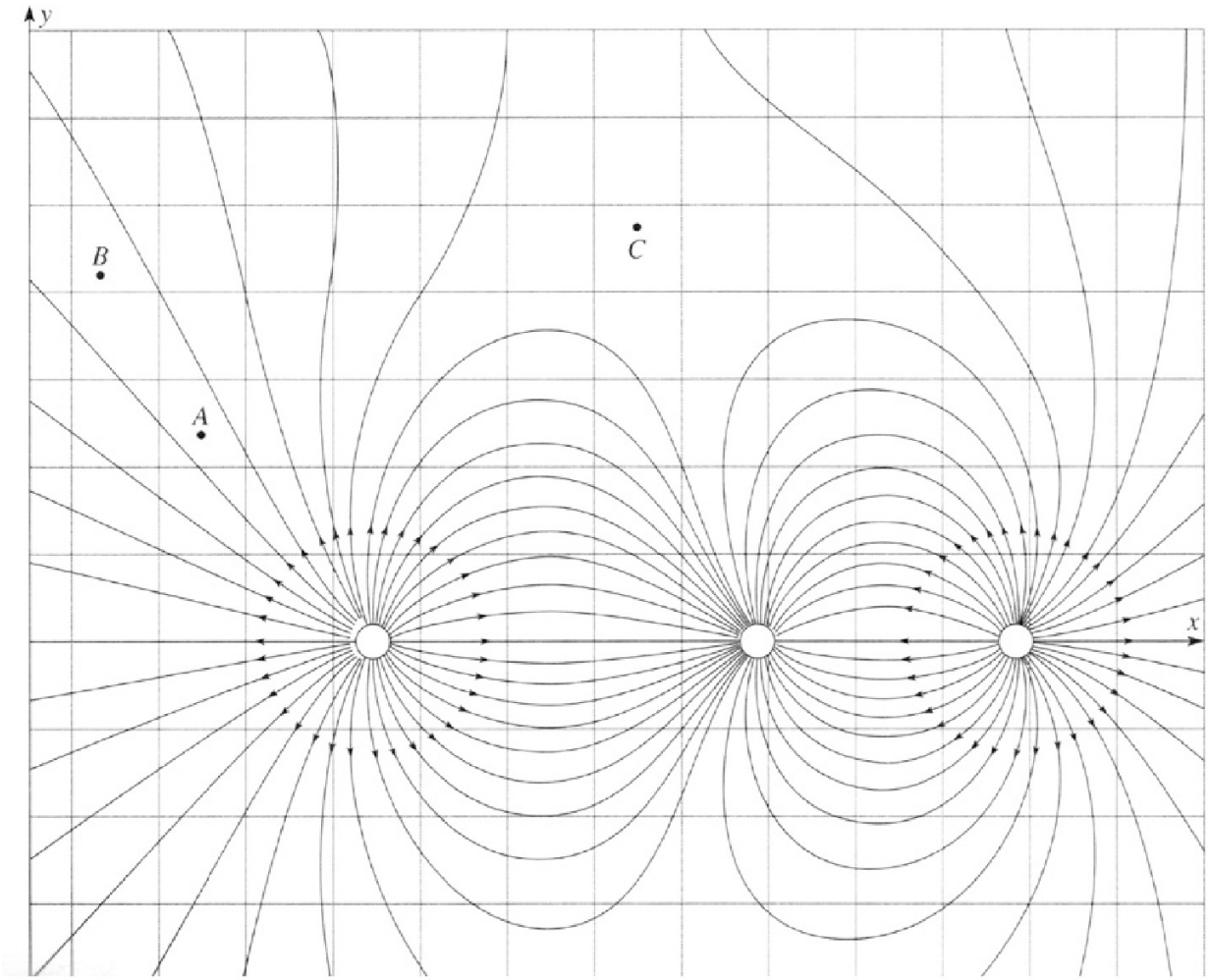


FIGURE 1 – cartographie de champ électrostatique. Les points A, B et C sont notés. Un carreau représente l'unité de longueur.

III. Expérience de Rutherford

Une fine feuille d'or (Z = 79) est bombardée par des particules α. Ces particules sont projetées avec une énergie cinétique $E_0 = 10$ MeV. On constate qu'une faible partie des particules incidentes est renvoyée dans la direction opposée, à cause de leur rétro-diffusion sur les noyaux d'or. Une représentation schématique est donnée par la figure 2.

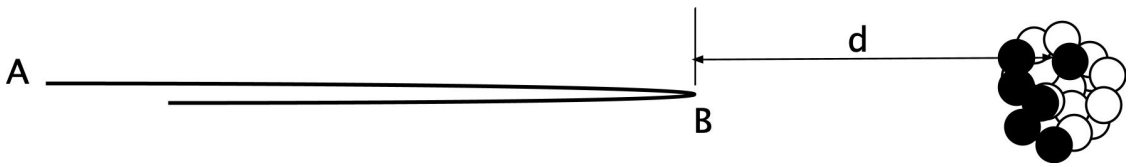


FIGURE 2 – Schèma de la rétro-diffusion dans la diffusion Rutherford de particules α sur des noyaux d'or

Les particules α viennent du point A et rebroussent chemin en B qui est la position d'approche minimale.

Exprimer la distance d'approche minimale d en fonction des données. Calculer d.

Cette série se propose d'aborder le calcul de champ et potentiel électrostatiques pour les charges discrètes puis de considérer l'approximation dipolaire.

Système de deux charges ponctuelles. Approximation du dipôle.
Soient A et B deux points de l'espace placés sur l'axe Ox d'un repère cartésien (O, x, y). Leurs coordonnées sont $A(-a, 0)$ et $B(a, 0)$. On considère un ensemble de deux charges $-2q$ et $+2q$ placées respectivement au point A et B comme indiqué sur la figure 3.

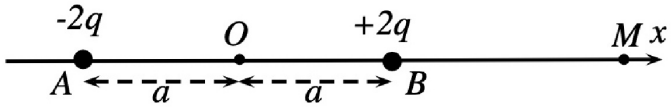


FIGURE 3 – Système des deux charges ponctuelles $-2q$ et $+2q$

Nous allons étudier le champ et potentiel électrostatiques dans les directions de l'axe Oy et Ox dans la configuration ordinaire et puis dans approximation dipolaire.

1. Selon la direction des axes Oy et Ox
   Pour le système de charge $(-2q,+2q)$ déterminer
   (a) le potentiel électrostatique V_y créé en un point de l'axe Oy,
   (b) le champ électrostatique $\overrightarrow{E}_y$ créé en un point de l'axe Oy,
   (c) le potentiel électrostatique V_x créé en un point de l'axe Ox,
   (d) et le champ électrostatique $\overrightarrow{E}_x$ crée en un point de l'axe Ox.
2. Approximation dipolaire
   Une molécule $(\mathcal{M}_1)$ est modélisée par le système de charge $(-2q,+2q)$ que nous venons d'étudier.
   (a) Quel est le moment dipolaire $\overrightarrow{p}$ de cette molécule $\mathcal{M}_1$?
   (b) Que deviennent les expressions de $\overrightarrow{E}_y$ et V_y précédentes lorsque $y \gg a$?
   (c) Que deviennent les expressions de $\overrightarrow{E}_x$ et V_x précédentes lorsque $x \gg a$?
   (d) Soient les points A, B, C et D. Les coordonnées de ces points dans le repère cartésien $(0, x, y)$ sont $A(\ell, 0)$, $B(0, \ell)$, $C(-\ell, 0)$ et $D(0, -\ell)$.
   Le champ électrostatique engendré par la molécule $\mathcal{M}_1$ sera noté $\overrightarrow{E}_{\mathcal{M}_1}$. La distance ℓ est très grande devant a.
      i. Représenter sur un graphique, le champ $\overrightarrow{E}_{\mathcal{M}_1}$ engendré aux points A, B, C et D.
      ii. Comparer cette distribution de $\overrightarrow{E}_{\mathcal{M}_1}$ à celle du champ électrostatique engendré par une charge $+2q$ placée en O. On pourra faire une comparaison en considérant des valeurs typiques de a et ℓ, comme $a = 1\text{Å}$ et $\ell = 1\mu m$.
      iii. Commenter le comportement des deux systèmes de charges.

Cette série se propose de faire la comparaison de deux molécules.

Comparaison de deux molécules selon l'axe principal. Effet d'écran

L'une des molécules est la molécule $\mathcal{M}_1$ étudiée dans la **série C**. L'autre molécule est la molécule (notée $\mathcal{M}_2$) modélisée par les charges ponctuelles $+q$, $-2q$ et $+q$ respectivement placées en $A(-a)$, $O(0)$ et $B(+a)$ sur l'axe Ox, comme représenté sur la figure 4.

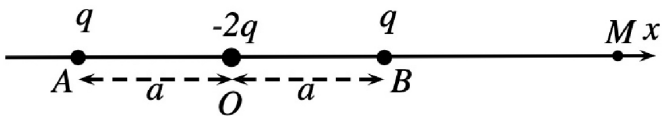


FIGURE 4 – Représentation du système de trois charges ponctuelles $+q$, $-2q$ et $+q$.

Nous allons étudier le champ et potentiel électrostatiques dans la direction de l'axe Ox dans la configuration ordinaire et puis dans approximation dipolaire.

1. Selon la direction de l'axe Ox
   $M(x)$ désigne un point de l'axe Ox dont la coordonnée, notée x, est repérée par rapport à O. Seuls les points tels que $\mid x \mid > a$ sont pris en considération.
   (a) Déterminer le potentiel électrostatique engendré par $\mathcal{M}_2$ en un point $M(x)$.
   (b) Déterminer le champ électrostatique, noté $\overrightarrow{E}_{\mathcal{M}_2}$, engendré par $\mathcal{M}_2$ en un point $M(x)$.
2. Approximation dipolaire
   On désire comparer l'action de ces molécules. Nous considérons un point $C(\ell, 0)$ de l'axe Ox très éloigné de la molécule ($\ell \gg a$).
   (a) A partir des résultats précédents, donner l'expression de $\overrightarrow{E}_{\mathcal{M}_2}$ au point C dans le cadre de l'approximation dipolaire.
   (b) La charge q_0 est placée au point C.
      i. Déterminer l'intensité de la force $\overrightarrow{F_2}$ exercée par la molécule $\mathcal{M}_2$ sur la charge q_0.
      ii. On remplace la molécule $\mathcal{M}_2$ par $\mathcal{M}_1$. Quelle serait la force $\overrightarrow{F_1}$ par exercée $\mathcal{M}_1$ sur la charge q_0 placée au point C ?
      iii. Quel est le rapport (F_2/F_1) entre les intensités des forces ? Donner une explication à ce résultat.

1 ANNEXE Constantes utiles

Nombre (ou constante) d'Avogadro	$\mathcal{N}_A = 6,0221415\,10^{23}\mathrm{mol}^{-1}$
Champ de pesanteur	g=9,8m s^{-2}
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 2,99792458\,10^{8}\mathrm{m\,s}^{-1}$
Charge électrique de l'électron	$q_e = 1,60217653\,10^{-19}\mathrm{C}$
Constante de Planck	$h = 6,6260693\,10^{-34}\mathrm{J\,s}$ $h = 4,13566743\,10^{-15}\mathrm{eV\,s}$
Masse de l'électron	$m_e = 9,109\,10^{-31}\mathrm{kg}$ $m_e = 0,510998\,\mathrm{MeV/c^2}$
Masse du proton	$m_p = 1672\,10^{-27}\mathrm{kg}$ $m_p = 938,272\,\mathrm{MeV/c^2}$
Constante de Coulomb	$K=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=8,987\,10^{9}\mathrm{N\,m^2\,C^{-2}}$

TABLE 1 – **Constantes utiles**