

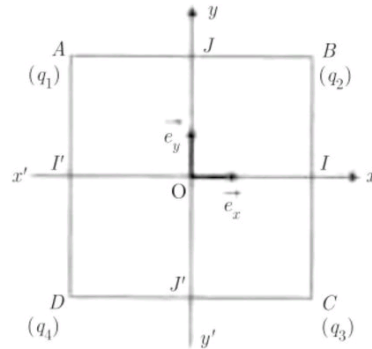
**2.1.** On place quatre charges ponctuelles aux sommets  $ABCD$  d'un carré de côté  $a = 1$  m, et de centre  $O$ , origine d'un repère orthonormé  $Oxy$  de vecteurs unitaires  $\vec{e}_x$  et  $\vec{e}_y$ .

On donne :

$$q_1 = q = 10^{-8} \text{ C} \quad q_2 = -2q$$

$$q_3 = 2q \quad q_4 = -q$$

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ S.I.}$$



1) Déterminer le champ électrique  $\vec{E}$  au centre  $O$  du carré. Préciser la direction, le sens et la norme de  $\vec{E}$ .

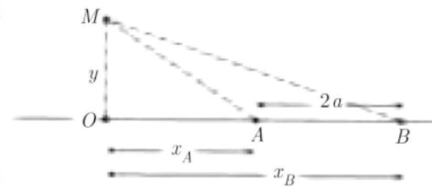
2) Exprimer le potentiel  $V$  créé en  $O$  par les quatres charges.

3) Exprimer le potentiel sur les parties des axes  $x'x$  et  $y'y$  intérieures au carré. Quelle est, en particulier, la valeur de  $V$  aux points d'intersection de ces axes avec les côtés du carré ( $I, I', J$  et  $J'$ ) ?

**2.2.** 1) Calculer, en tout point  $M$  de l'espace, le champ électrique  $\vec{E}$  créé par un fil rectiligne  $AB$  de longueur finie  $2a$ , portant une densité linéique de charges  $\lambda > 0$ .

Soit  $O$  la projection de  $M$  sur la droite  $AB$ , on posera :

$$OM = y, \quad OA = x_A, \quad OB = x_B$$



2) On examinera les cas particuliers suivants :

a) le point  $M$  est dans le plan médiateur de  $AB$ ,

b) le fil a une longueur infinie.

**2.3.** On considère un disque de rayon  $R$ , de centre  $O$ , portant une densité de charge surfacique  $\sigma > 0$ .

1) Retrouver, par un calcul direct, le champ  $\vec{E}$  créé par le disque en un point  $M$  de son axe  $z'Oz$  ( $OM = z > 0$ ) à partir du champ élémentaire  $d^2\vec{E}$  créé par la charge élémentaire  $dq = \sigma dS$  (voir exemple 3 du paragraphe 7 pour une autre méthode).

- 2) Que devient ce champ  $\vec{E}$  lorsque le rayon du disque  $R$  tend vers l'infini ?
- 3) On considère un plan infini portant une densité de charge surfacique  $\sigma > 0$ , percé d'un trou circulaire de centre  $O$  et de rayon  $r$ .

Calculer le champ  $\vec{E}$  en un point  $M$  de l'axe  $z'Oz$  du trou.

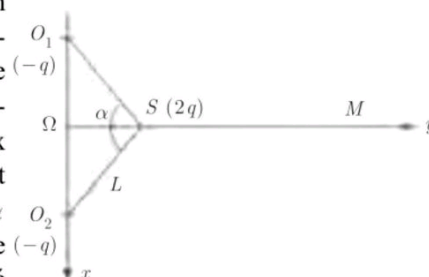
**2.4.** 1) Un conducteur creux hémisphérique de centre  $O$  et de rayon  $R$  est chargé uniformément avec une densité de charge surfacique  $\sigma > 0$ .

Calculer le champ  $\vec{E}_1$  créé au point  $O$ .

2) On considère maintenant une distribution de charge en volume ayant la forme de l'hémisphère ci-dessus et portant une charge volumique uniforme  $\rho$ . En considérant la distribution volumique comme engendrée par la distribution surfacique de la 1<sup>re</sup> question lorsque le rayon de cette dernière varie de  $O$  à  $R$ , calculer le champ électrique  $\vec{E}_2$  créé au point  $O$ .

3) Retrouver ce dernier résultat par un calcul direct.

**2.5.** A) On assimile la molécule de  $\text{SO}_2$  à un ensemble de trois charges ponctuelles disposées comme l'indique la figure. La charge positive  $S(+2q)$  représentant l'atome de soufre est située à la même distance  $L$  des deux atomes d'oxygène, situés en  $O_1$  et  $O_2$ , portant chacun une charge  $-q$ . On désigne par  $\alpha$  l'angle entre les deux liaisons soufre-oxygène et on adopte le système d'axes  $\Omega xy$  représenté sur la figure. L'origine  $\Omega$  est située au milieu des deux atomes d'oxygène.



1) Montrer que cette distribution de charges électriques est équivalente à un dipôle.

2) En déduire le moment dipolaire  $\vec{p}$  de la molécule  $\text{SO}_2$  en précisant son orientation et sa norme.

$$A.N. : \quad \alpha = 120^\circ \quad L = 1,432 \cdot 10^{-10} \text{ m} \quad q = 0,29 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

B) Étant donné un point  $M$  situé sur l'axe  $\Omega y$  à une grande distance de  $S$ , on désire justifier l'approximation dipolaire pour  $\Omega M = 20L$  par exemple.

- 1) Calculer directement le champ  $\vec{E}_M$  créé en  $M$  par les trois charges.
- 2) Calculer le champ  $\vec{E}'_M$  créé au point  $M$ , en remplaçant les trois charges par le dipôle équivalent.
- 3) Comparer les résultats obtenus.

**2.6.** Dans l'espace où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}$ , on considère sur un axe  $x'Ox$  parallèle à  $\vec{E}$  deux points  $A$  et  $B$  tels que  $\overrightarrow{AB}$  soit dans le même sens que  $\vec{E}$ .

1) Quelles sont les surfaces équipotentielles ?

2) Quel est le potentiel en un point  $M$  de l'espace situé à la distance  $r$  de  $O$  et tel que l'angle  $(\overrightarrow{OB}, \overrightarrow{OM}) = \theta$ .

3) On place les charges  $-q$  et  $+q$  respectivement en  $A$  et  $B$ .

a) Montrer que le dipôle  $AB$  est en équilibre stable.

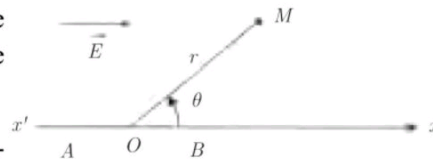
b) Quel est le potentiel résultant en  $M$  ?

c) Montrer qu'il existe une sphère de centre  $O$ , sur laquelle ce potentiel reste constant. Calculer numériquement le rayon de cette sphère ?

d) Quelle est la valeur constante de ce potentiel ?

On donne :  $q = 10^{-7} \text{ C}$     $AB = 1 \text{ cm}$     $E = 72 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$

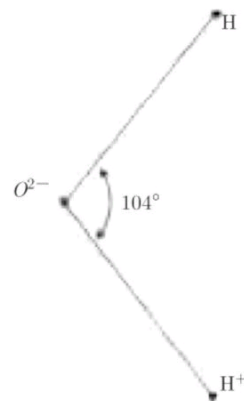
$$K = 9 \cdot 10^9 \text{ S.I.}$$



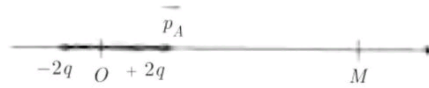
**2.7. A)** En première approximation, une molécule d'eau peut être considérée comme formée de deux ions  $\text{H}^+$  et un ion  $\text{O}^{2-}$  disposés comme l'indique la figure. Calculer le moment dipolaire  $\vec{p}_A$  de cette molécule sachant que les distances entre  $\text{O}^{2-}$  et les deux ions  $\text{H}^+$  sont toutes les deux égales à  $1 \text{ \AA}$ .

**B)** On considère une molécule d'eau  $A$ , placée au point  $O$ . Elle est assimilable à un dipôle électrique permanent de moment  $\vec{p}_A$  dont le centre est en  $O$ .

En un point  $M$ , situé sur l'axe de la molécule  $A$ , à une distance  $r$ , on place successivement :



1) Une charge électrique  $q > 0$ . Quelle est la force exercée par la molécule  $A$  sur cette charge ?



2) Un dipôle de moment  $\vec{p}$  orienté selon  $\overrightarrow{OM}$ .

a) Quelle est l'énergie potentielle du dipôle  $\vec{p}$  dans le champ électrique  $\vec{E}_M$  créé en  $M$  par la molécule  $A$  ? (On supposera que  $r$  est suffisamment grand pour que le champ  $\vec{E}_M$  puisse être considéré comme constant autour de  $M$ .)

b) Quelle est la force à laquelle est soumis le dipôle ? On précisera sa direction et son sens.

3) On considère un dipôle induit  $\vec{p}$  dont l'intensité est proportionnelle à l'intensité du champ  $\vec{E}_M$ , soit  $\vec{p} = \beta \vec{E}_M$  (on supposera toujours  $\vec{E}_M$  constant autour de  $M$ ).

a) Quelle est l'énergie potentielle d'interaction de ce dipôle avec la molécule d'eau ?

b) À quelle force est-il soumis ?

4) L'interaction dipôle-dipôle peut-elle suffire à expliquer la stabilité du système de deux molécules ? Justifier votre réponse.